И. М. ПАВЛОВ, Н. М. ФЕДОСОВ, В. П. СЕВЕРДЕНКО,
И. Я. ТАРНОВСКИЙ, Б. Л. ЛАНГЕ, Я. М. ОХРИМЕНКО

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Под научной редакцией чл.-корр. АН СССР,
проф. докт. техн. наук И. М. ПАВЛОВА

*Допущено*
*Министерством высшего образования*
*СССР в качестве учебника*
*для металлургических вузов*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ
ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
*Москва 1955*

## АННОТАЦИЯ

В книге излагаются с учетом новейших данных сведения по обработке металлов давлением в соответствии с программой курса для металлургических специальностей (кроме специальности «обработка металлов давлением». Студенты этой специальности могут, пользуясь книгой, получить первое общее знакомство с их основной дисциплиной).

Книга может быть полезной и для учащихся других специальностей (механиков, электриков, энергетиков и пр.), а также для всех лиц, интересующихся общими вопросами пластической деформации металлов и отдельными процессами обработки металлов давлением.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

*Стр.*

Предисловие ..... 8
Введение ..... 9
Основные обозначения, принятые в книге ..... 21

ЧАСТЬ I

**ТЕОРИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Глава I. Форма тела ..... 25

Глава II. Физическая природа пластической деформации металлов 28
1. Механизм пластической деформации; явление упрочнения — наклепа ..... 28
2. Рекристаллизация и горячая обработка металлов давлением 34
3. Влияние состава металла, температуры и скорости деформации 38
4. Связь процесса деформации с состоянием металла. Методы испытания пластичности металла ..... 41

Глава III. Изменение формы тела при обработке давлением..... 43
5. Уравнение постоянства объема. Характеристики величины деформации ..... 43
6. Возможные схемы деформации ..... 51
7. Равномерная и неравномерная деформации ..... 53
8. Геометрические явления при пластической деформации..... 58

Глава IV. Напряжения при обработке металлов давлением и их связь с деформациями ..... 60
9. Напряженное состояние металла ..... 60
10. Уравнение пластичности ..... 67
11. Закон наименьшего сопротивления ..... 73
12. Влияние внешних частей тела на процесс деформации. Остаточные напряжения ..... 74
13. Определение усилий при обработке металлов давлением. Сопротивление деформации металла. Форма инструмента.... 79
14. Метод замены проекций сил проекциями поверхностей..... 84
15. Работа деформации при обработке металлов давлением.... 88
16. Трение при обработке металлов давлением..... 90

Глава V. Сопоставление процессов обработки металлов давлением Теоретические основы ковки и штамповки ..... 93
17. Общее сопоставление различных процессов обработки металлов давлением ..... 93
18. Осадка при ковке ..... 97
19. Протяжка ..... 110
20. Прошивка ..... 112
21. Ковка на подкладных кольцах ..... 115
22. Определение тоннажа кузнечных машин-орудий ..... 116

Глава VI. Теоретические основы прокатки ..... 119
23. Условия захвата полосы и устаиовившегося процесса прокатки 119
24. Продольная деформация при прокатке ..... 122
25. Поперечная деформация при прокатке ..... 126
26. Прокатка в ручьевых валках ..... 128
27. Усилия при прокатке ..... 130
28. Работа прокатки ..... 134
29. Поперечная и косая прокатка ..... 135

Глава VII. Теоретические основы волочения и прессования через очко 138
30. Процесс волочения ..... 138
31. Усилие и некоторые другие условия волочения ..... 140
32. Характеристика и методы прессования через очко ..... 142
33. Усилия, необходимые для прессования через очко ..... 145

ЧАСТЬ II

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЦЕХОВ ПО ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

*Раздел 1.* **Оборудование прокатных цехов** ..... 149

Глава VIII. Классификация прокатных станов ..... 149
34. Требования, предъявляемые к прокатному оборудованию .... 149
35. Классификация прокатных станов по назначению ..... 149
36. Классификация прокатных станов по расположению рабочих клетей ..... 151
37. Классификация прокатных станов по расположению и количеству валков в рабочих клетях ..... 157

Глава IX. Характеристика основных узлов собственно прокатного стана. Прокатная клеть; шестеренная клеть; главный редуктор; соединительные устройства ..... 164
38. Основные узлы прокатного стана и их назначение ..... 164
39. Прокатные валки ..... 170
40. Станины прокатных клетей ..... 176
41. Вкладыши и подшипники ..... 180
42. Нажимные и уравновешивающие устройства для верхнего валка ..... 185
43. Устройства для регулирования положения нижнего и установки среднего валков. Осевая регулировка валков ..... 193
44. Устройства для смены валков ..... 196
45. Шестеренная клеть ..... 197
46. Главные редукторы стана ..... 200
47. Соединительные устройства ..... 200

Глава X. Вспомогательные машины прокатных цехов ..... 209
48. Назначение, виды и конструкции вспомогательных машин.. 209
49. Машины для разрезывания прокатанного продукта ..... 209
50. Машины для правки ..... 220
51. Моталки для катанки и свертывающие машины для рулонов 221
52. Холодильники ..... 227

Глава XI. Транспортные устройства прокатных цехов ..... 231
53. Назначение и виды транспортных машин ..... 231
54. Устройства для продольной транспортировки ..... 231
55. Устройства для поперечной транспортировки металла ..... 236
56. Устройства для высотного перемещения прокатываемой полосы 237
57. Манипуляторы, кантователи и слитковозы ..... 239



*Раздел 2.* **Калибровка прокатных валков** ..... 242

Глава XII. Понятия о калибровке ..... 242
58. Задачи калибровки прокатных валков ..... 242
59. Основные понятия о калибровке валков ..... 243

Глава XIII. Калибровка валков для производства полупродукта.. 249
60. Калибровка валков блуминга ..... 249
61. Калибровка обжимных трехвалковых станов ..... 251
62. Прокатка по системе ромб — ромб и ромб — квадрат ..... 252
63. Прокатка по системе овал — квадрат ..... 254
64. Калибровка валков непрерывных станов ..... 255

Глава XIV. Калибровка валков для прокатки простых профилей и листов ..... 256
65. Калибровка валков для прокатки круглых профилей ..... 256
66. Калибровка валков для прокатки квадратных профилей.... 259
67. Калибровка валков для прокатки полосовых профилей.... 262
68. Калибровка валков для прокатки листов ..... 264

Глава XV. Калибровка валков для прокатки сложных профилей и угловой стали ..... 266
69. Калибровка валков для прокатки сложных профилей ..... 266
70. Калибровка валков для прокатки угловой стали ..... 267
71. Калибровка валков для прокатки двутавровых балок ..... 269
72. Калибровка валков для прокатки рельсов ..... 274

Глава XVI. Некоторые технологические вопросы, связанные с калибровкой ..... 278
73. Понятие об арматуре рабочих валков ..... 278
74. Настройка прокатного стана ..... 282
75. Пороки продукта, являющиеся результатом неправильной калибровки и настройки валков ..... 283

*Раздел 3.* **Технология прокатного производства** ..... 285

Глава XVII. Общая схема производства в прокатных цехах и производительность прокатных станов ..... 285
76. Общая схема производства в прокатных цехах ..... 285
77. Часовая производительность стана ..... 289
78. Определение производительности одноклетьевого заготовочного прокатного стана трио ..... 290
79. Определение производительности одноклетьевого дуо-реверсивного блуминга ..... 291
80. Определение производительности многоклетьевого стана..... 293

Глава XVIII. Готовый продукт ..... 297
81. Сортамент прокатных изделий ..... 297
82. Схемы технологических процессов в прокатных цехах ..... 298
83. Контроль технологического процесса ..... 299

Глава XIX. Слитки и заготовка ..... 300
84. Слитки ..... 300
85. Заготовка ..... 301
86. Подготовка слитков и заготовки к прокатке ..... 302

Глава XX. Производство полупродукта ..... 303
87. Технологический процесс прокатки полупродукта ..... 303
88. Станы для прокатки крупной заготовки — блумов и слябов.. 306
89. Заготовочные станы для производства мелкой заготовки.. 310
90. Технико-экономические показатели производства полупродукта 315

Глава XXI. Производство рельсов и балок ..... 318
91. Сортамент и технологический процесс прокатки рельсов и балок ..... 318
92. Станы для производства рельсов и балок ..... 320
93. Технико-экономические показатели производства рельсов и балок ..... 324

Глава XXII. Производство сортового металла и проволоки ..... 326
94. Сортамент и технологический процесс прокатки сортового металла ..... 326
95. Станы для производства сортового металла ..... 328
96. Станы для прокатки проволоки (катанки) ..... 338

Глава XXIII. Производство ленты и заготовки для сварных труб.... 341
97. Сортамент и технологический процесс прокатки ленты и заготовки для сварных труб ..... 341
98. Технико-экономические показатели производства сортового металла, проволоки, ленты и заготовки для сварных труб.. 345

Глава XXIV. Производство листовой стали ..... 346
99. Сортамент листовой стали ..... 346
100. Производство толстолистовой стали ..... 347
101. Прокатка универсальной стали ..... 354
102. Горячая прокатка тонколистовой стали ..... 356
103. Холодная прокатка листовой стали ..... 365
104. Технико-экономические показатели производства листовой стали ..... 372

Глава XXV. Производство бандажей и колес ..... 373

Глава XXVI. Производство труб ..... 377
105. Способы производства труб ..... 377
106. Производство бесшовных труб ..... 378
107. Производство сварных труб ..... 389

*Раздел 4.* **Процессы волочения и прессования** ..... 39

Глава XXVII. Волочение ..... 395
108. Оборудование волочильных цехов ..... 395
109. Волочильный инструмент и вспомогательные механизмы .... 397
110. Технологический процесс волочения прутков и проволоки.. 399
111. Особенности технологического процесса волочения стальных труб ..... 403
112. Холодная прокатка труб и сравнение ее с процессом волочения ..... 405
113. Производительность волочильных станов. Брак при волочении ..... 406
114. Организация работы и достижения новаторов производства в волочильных цехах ..... 408

Глава XXVIII. Прессование (выдавливание через очко) ..... 409
115. Прессы гидравлические и механические ..... 409
116. Технологический процесс прессования прутков и труб из цветных металлов ..... 411
117. Прессование стальных труб ..... 413
118. Технико-экономические показатели прессования (расположение прессового оборудования) ..... 414



*Раздел 5.* **Оборудование и технология кузнечного производства**..... 416

Глава XXIX. Оборудование кузнечных цехов ..... 416
119. Общая характеристика кузнечных цехов ..... 416
120. Основное оборудование кузнечных цехов ..... 417
121. Оборудование для разделки исходного материала на заготовку ..... 440

Глава XXX. Технология ковки и штамповки ..... 441
122. Влияние ковки и штамповки на строение и механические свойства материала изделий ..... 441
123. Свободная ковка ..... 444
124. Горячая штамповка ..... 451
125. Холодная штамповка ..... 469
126. Вопросы организации и экономики кузнечно-штамповочного производства ..... 478

*Литература* ..... 482

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга является учебником для студентов-металлургов всех специальностей, кроме специальности «обработка металлов давлением», а также для студентов, изучающих общий курс технологии горячей обработки металлов.

Имея в виду эту цель, авторы придерживались программы, утвержденной Министерством высшего образования СССР 2 июня 1950 г., индекс № ГМ-41 (автор программы действительный член АН УССР А. П. Чекмарев, ответственный редактор проф. И. А. Перлин).

В книге, как и в программе, наиболее полно представлена прокатка. Это объясняется тем, что прокатные цехи имеются на всех крупных металлургических заводах и самое прокатное производство, наряду с доменным и сталеплавильным, является основным металлургическим производством.

С точки зрения обработки металлов давлением прокатка также занимает особое место, поскольку через этот процесс проходит почти весь металл, потребляемый для других видов обработки: свободной ковки, штамповки, волочения и пр. Все остальные процессы обработки металлов давлением также в достаточной мере, как это требуется программой, отражены в книге.

Вполне сознавая возможность упущений и погрешностей в их труде, авторы будут благодарны за все критические замечания и пожелания. За предварительный просмотр рукописи с ее разбором авторы выражают свою признательность коллективам кафедры ковки-штамповки, руководимой проф. В. И. Залесским и кафедры прокатки, руководимой чл. корр. АНСССР Иг. М. Павловым (Московский институт стали им. И. В. Сталина).

Авторы выражают также благодарность рецензентам книги: действ. члену АН УССР А. П. Чекмареву и проф. докт. техн. наук В. С. Смирнову.

# ВВЕДЕНИЕ

Для характеристики роли обработки металлов давлением в народном хозяйстве СССР достаточно сказать, что более 75% всей стали, выплавляемой на металлургических заводах, обрабатывается прокаткой. Кроме того, часть стальных слитков подвергается непосредственно ковке и прессованию; остальная часть стали используется для производства фасонных стальных отливок.

Существует много разновидностей процессов обработки металлов давлением. Рассмотрим самые основные из них, получившие в настоящее время наиболее широкое промышленное применение.

Наиболее важным видом обработки металлов давлением является прокатка. Схема процесса прокатки представлена на рис. 1.

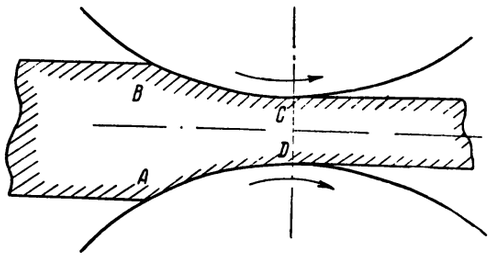



Рис. 1. Схема прокатки в гладких валках

Вращающиеся прокатные валки благодаря действию трения втягивают деформируемую полосу в зев *ABCD*, образованный валками. При этом толщина полосы уменьшается, а длина и ширина (обычно в значительно меньшей мере) увеличивается.

Этим способом производится очень большое количество круглых, квадратных и других простых профилей, рельсов для железнодорожного транспорта, строительных профилей (балок с различной формой поперечного сечения), листового, полосового и ленточного проката, сложных профилей для машиностроения (например, для колес автомобиля, гусениц трактора) и т. д. Большое развитие в нашей стране получила прокатка бесшовных труб.

Схема получения полой гильзы из сплошной круглой заготовки показана на рис. 2. Валки сообщают заготовке винтообразное движение, при этом заготовка обжимается по толщине и одновременно осуществляется подготовка центральной части металла к прошивке, а сама прошивка осуществляется при помощи оправки $A$ (на стержне $B$).

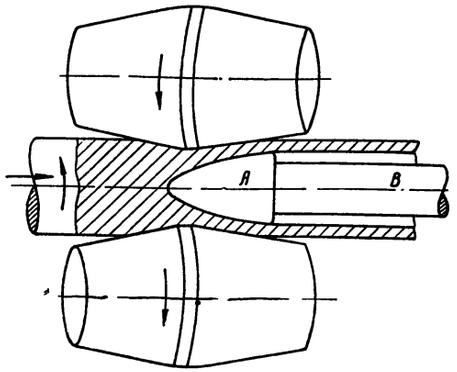



Рис. 2. Схема прошивки круглой заготовки в гильзу на стане косой прокатки

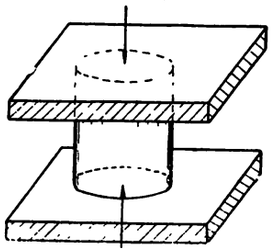


Рис. 3. Схема свободной ковки

Важнейшими видами обработки металлов давлением являются также ковка и штамповка. При свободной ковке обжатие заготовки ведется при помощи универсального инструмента — бойков, закрепленных на прессах или молотах, причем непосредственное воздействие инструмента на боковые поверхности заготовки отсутствует (помимо бойков при свободной ковке может использоваться также вспомогательный инструмент, который не закреплен непосредственно на машинах). Основная схема свободной ковки показана на рис. 3. При свободной ковке в качестве заготовки используют катаный металл (преимущественно на молотах) или слитки (преимущественно на прессах). Обработка давлением весьма крупных слитков (до 200 $т$ и более) в настоящее время ведется только методом свободной ковки.

В отличие от свободной ковки, для штамповки характерно применение специализированного инструмента — штампов, часто имеющих весьма сложную форму, подкладных или закрепляемых непосредственно на машинах и воздействующих также на боковые поверхности металла. Под действием давления полости штампов заполняются металлом и получается поковка нужной формы и размеров (рис. 4).

Штамповка металла может быть осуществлена в горячем и холодном состоянии (горячая и холодная штамповка). Для горячей штамповки применяют прутки чаще круглой и квадратной формы. Среди разновидностей холодной штамповки наиболее распространена листовая штамповка, исходными материалами для которой служат листовые заготовки. Штамповка толстых листовых заготовок применяется и в горячем состоянии. Для свободной ковки характерно индивидуальное и мелкосерийное машиностроительное производство. Для процессов штамповки — серийное и массовое производство.



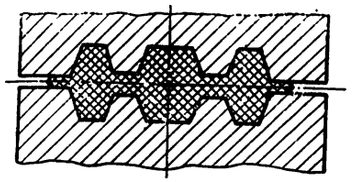


Рис. 4. Схема штамповки шестерни

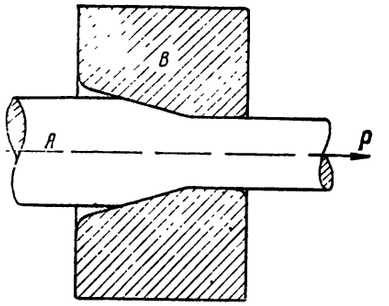



Рис. 5. Схема волочения прутка

Штамповка широко применяется в машиностроении, особенно в автотракторной и авиационной промышленности, паровозо- и вагоностроении, приборостроении, а также в ряде других важных отраслях промышленности. Штамповка, особенно листовая, находит большое применение также в производстве предметов широкого потребления (производство металлической посуды, ложек, примусов, часов и др.).

Далее рассмотрим схему волочения металлов (рис. 5). Сущность волочения заключается в протягивании ранее прокатанного металла $A$ через волоку $B$ при помощи тягового усилия $P$, создаваемого специальным приводом. Горячая прокатка проволоки (так называемой катанки) производится обычно до диаметра 5—8 *мм*. Более тонкую проволоку из черных и цветных металлов получают волочением. Проволока служит для изготовления разнообразных изделий, широко применяемых в народном хозяйстве нашей страны: различных электропроводов, кабелей, тросов, сеток, гвоздей, винтов и т. д.

Волочению подвергается также сортовой прокат в виде прутков (круглые и другие профили) для получения точных размеров, чистой поверхности и некоторого наклепа. Наконец, волочению подвергается большое количество труб, изготовленных прокаткой, для изменения диаметра и толщины стенки.

Если приложить давление $P$ к заднему торцу заготовки или слитка $A$, заключенного в цилиндре $B$, то металл будет вытекать через матрицу $C$, принимая форму выходного сечения очка (рис. 6). Этот вид обработки металлов давлением называется выдавливанием или прессованием через очко и широко применяется

для обработки цветных металлов и сплавов, отчасти стали. Способом прессования через очко получают прутки самой разнообразной формы поперечного сечения, а также трубы.

Наиболее ранним видом обработки металлов давлением явилась ковка. В примитивной форме ковка, вероятно, возникла одновременно с освоением металлов человеком. В древнем мире (Египет, Рим, страны Востока), кроме разнообразных кованых предметов, были известны резаные из расплющенных полос и тянутые проволочные изделия (волочение). Среди скифских древностей имеются необычайно тонкой работы ювелирные золотые изделия с коваными и тянутыми мельчайшими частями (Эрмитаж, Ленинград). Применение ковки и волочения было известно также в древней Грузии. В древней Руси железные и медные кованые изделия применялись в домашнем быту, в сельском хозяйстве и в качестве предметов вооружения. Кованые железные серпы в России изготовлялись уже в IX веке, а кованые косы — в XI веке [17]. Громадное значение имело изготовление кованых мотыг, лемехов и топоров (обработка земли, рубка лесов). Тогда же русскими воинами широко применялось кованое железное оружие, в то время как англо-саксы пользовались еще в качестве оружия каменными топорами (битва при Гастингсе в 1066 г.). С очень большим искусством ковалось не только древнее русское оружие (мечи, секиры и пр.), доспехи (щиты, шлемы, кольчуги и пр.) и ручные орудия труда (топоры, мотыги, ножи, пилы и т. д.), но и предметы строительного дела (дверная и оконная арматура, решетки, петли, замки, гвозди и пр.), художественные изделия, утварь, посуда (подчас очень причудливых форм) и др. Интересно, что обработка металлов давлением уже в древней Руси сопровождалась термической обработкой и даже сваркой. Так, в XI веке изготовлялся инструмент с наваркой стали на режущие кромки (Рыбаков, «Ремесло древней Руси», 1948).

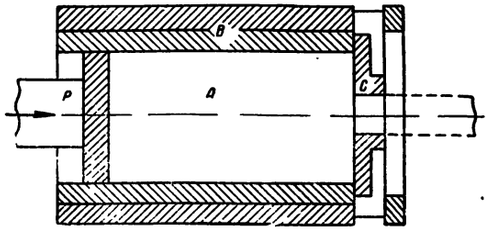



Рис. 6. Схема прессования через очко

Кроме приемов ручной ковки, в самые древние времена применялась листовая штамповка в виде процесса выколотки (обколачивания) на оправке (деревянном болване) и позднее в форме токарно-давильного процесса, а также чеканка, насечка и пр.



В XII веке различными способами ковки, выколотки и пр. изготовлялись крупные котлы для варки пищи, сковороды для выварки соли, цепи и т. д. Весьма широко был развит железный промысел под Москвой, в Тульском районе, где кузнецы совершенствовали свой опыт с древнейших времен.

Большое развитие получает кузнечное дело с момента постройки ряда железоделательных заводов в XVII веке (Тульские или Городищенские — 1632 г., Костромской — 1644 г., Каширские — 1653 г., Олонецкие — 1674 г. и др.). В XVII веке в России существовали уже оружейные заводы, изготовлявшие кованые пищали и пушки, в больших количествах вывозившиеся за границу [18]. В кузницах этого периода применялись молоты с приводом от водяных колес. В 1700 г. один из русских оружейников Н. Демидов переносит оружейное производство на Урал, где с этого времени начинает быстро развиваться железоделательная промышленность.

Начиная с 1800 г., в России уже осуществлялась горячая ковка железа в штампах (ружейные части), причем к концу первой четверти XIX века штамповались уже многие взаимозаменяемые (стандартные) детали ружейных замков, а за границей в это время штамповали только ружейные курки [18].

Дальнейшее развитие процессов ковки и штамповки связано с расширением ассортимента изделий, получаемых ковкой и в особенности штамповкой, увеличением потребности в больших количествах одинаковых изделий и необходимостью иметь все более крупные по величине кованые изделия. Появление паровых и пневматических молотов, кривошипных, фрикционных и гидравлических прессов превращает кузнечное ремесло в промышленное производство, которое все же долгое время является подсобным, заготовительным. К моменту Великой Октябрьской социалистической революции кузнечно-штамповочное производство было в отсталом состоянии.

В настоящее время в СССР создано высокопроизводительное и технически совершенное кузнечно-штамповочное производство, без которого не обходится ни одна отрасль машиностроения и ряд других отраслей промышленности.

Процесс волочения был известен еще в глубокой древности. В I веке римляне при помощи волочения получали тонкую проволоку из золота, серебра и меди.

В древней Руси процесс волочения был хорошо известен уже в IX—X вв. и широко применялся ремесленниками Киева, Новгорода, Чернигова и других городов для изготовления проволоки из цветных металлов. Несколько позже на Руси стали протягивать железную проволоку. В качестве оборудования для волоче-

ния проволоки в то время служили волочильные скамьи, причем на одном конце такой скамьи укреплялась волочильная доска, а на другом — деревянный ворот, к барабану которого прикреплялись волочильные клещи. Такие волочильные станы строились с ручным и конным приводом. Еще ранее этого проволоку тянули через очко непосредственно вручную.

В середине XVII века в России начали применять волочильные станы, у которых приводом служили водяные двигатели. В состав волочильных цехов того времени входили клещевые и барабанные волочильные станы, причем на клещевых станах получали проволоку диаметром до 8—9 *мм*, а на барабанных — до 2—2,5 *мм*. В качестве исходного материала для изготовления проволоки служили заготовки из кричного железа. В начале XIX века в связи с изобретением телеграфа увеличилась потребность в тянутой проволоке. Изобретение паровой машины дало возможность создать волочильные станы с паровыми двигателями. В дальнейшем в качестве привода начали применять электрические двигатели.

Несмотря на раннее развитие волочильного производства в России, только после Великой Октябрьской социалистической революции волочильно-калибровочное производство получило большое развитие и в настоящее время занимает видное место в нашей промышленности.

Прокатка появилась позже, чем ковка и волочение.

Первые сведения о прокатке относятся к XV веку (рисунки Леонардо да Винчи 1495 г.). В XVI веке применялась прокатка свинцовых полос (для органных труб и оконной арматуры) и холодная прокатка (прогладка) полос для монеты в ручных станках. Позже появились прокатные и «резные» станы с конным приводом и с передачей от водяных колес. Первоначально листовое и сортовое железо и листовая медь отковывались под молотами. Для разрезки листового металла на полосы и прутки служили рычажные, а затем дисковые ножницы (резные станы), изобретенные в середине XVII века. Прутки и листовые обрезки тянулись на проволоку.

Первые примитивные прокатные устройства в России появились в XVII веке и применялись главным образом для производства полосового и мелкосортного железа. Первые станы назывались плющильными и служили для плющения полосового железа; первый листовой стан был пущен на Урале, на Чермозском заводе в 1782 г. Интересно, что уже с начала XIX века изделия прокатных цехов России вышли на мировой рынок и ценились очень высоко. Например, знаменитое уральское кровельное железо, получавшееся прокаткой с последующей пробивкой под молотами, не имело себе равного по качеству (антикоррозионная стойкость). Прокатка рельсов была осуществлена в России впервые в 1843 г. на Выксунском заводе. Броневые листы изготовлялись только ковкой под молотами, что было крайне непроизводительно. В 1859 г. мастер В. С. Пятов впервые изготовил броневые листы прокаткой. В 1860 г. это изобретение было направлено в Англию на отзыв, причем пришел отрицательный ответ. Однако в 1861 г. некий Броун получил в Англии первый патент на производство брони именно этим способом.



Значительный подъем металлургической промышленности в России относится к 90-м годам прошлого столетия, что было связано в первую очередь с усиленным железнодорожным строительством, для которого требовалось огромное количество металла на рельсы, паровозы, вагоны. За десятилетие (1890—1900 гг.) было уложено свыше 21 тысячи верст железнодорожных путей.

В этот период возникла бóльшая часть южных заводов, представлявших значительный шаг вперед по сравнению с уральскими заводами с их отсталой техникой.

Наибольшее производство стали относилось к 1913 г., когда на заводах черной металлургии было уже более 300 прокатных станов. Однако средняя годовая производительность стана составляла тогда всего лишь около 12 тыс. *т*: механизация была очень слабой и вся сортовая и листовая сталь прокатывалась непроизводительно из мелких слитков.

За годы первой мировой войны производство чугуна, стали и проката значительно снизилось, а в годы интервенции и гражданской войны почти полностью остановилось.

Придавая решающее значение индустриализации для будущего нашей страны, для построения коммунистического общества, коммунистическая партия вела советский народ по пути создания мощной промышленности средств производства и в частности черной металлургии и развитого машиностроения.

Уже в 1928 г. был достигнут и превзойден довоенный уровень выплавки стали, а за годы второй и третьей пятилеток черная и цветная металлургия шагнула далеко вперед (в 1940 г. в СССР было произведено проката почти в 5 раз больше, чем в 1913 г.). За годы этих пятилеток был введен в работу ряд новых высокопроизводительных прокатных станов на таких крупных заводах, как Магнитогорский, Кузнецкий, Макеевский и Запорожсталь.

Вторая мировая война прервала мирный труд советских людей, но созданная вторая угольно-металлургическая база на Востоке обеспечила производство металла на полную мощность. Происходил быстрый ввод в действие эвакуированных с Юга предприятий и развернутым фронтом шло создание новых мощностей. В результате был введен в действие 21 прокатный стан, и производство проката на Востоке возросло на 57%.

Пятилетний план восстановления и развития народного хозяйства на 1946—1950 гг. являлся важнейшей частью программы

дальнейшего развития черной металлургии, предусмотренное производство проката 17,8 млн. *т* в 1950 г. было перевыполнено.

Наряду с развитием прокатного производства большое развитие в годы пятилеток получили и другие виды обработки металлов давлением, в частности, кузнечно-штамповочное производство.

Создание новых отраслей советского машиностроения и, в первую очередь, тяжелого и транспортного машиностроения, судостроения, авто-тракторной и авиационной промышленности потребовало постройки ряда крупнейших кузнечных и штамповочных цехов и заводов, оснащенных передовой техникой. Постройка таких цехов на заводах тяжелого машиностроения (Ново-Краматорский, Уралмаш и другие) обеспечила возможность получения любых крупных поковок. Освоена ковка стали ряда новых марок, повышено качество поковок, их точность.

Из примитивной одноручьевой штамповки простых по форме поковок, получаемых в незначительных количествах и с большими припусками и допусками, штамповочное производство превратилось в мощное крупносерийное и массовое производство поковок и деталей высокой точности и с чистой поверхностью.

Советская наука об обработке металлов давлением имеет богатое историческое прошлое.

Оригинальные мысли об обработке металлов давлением были высказаны великим русским ученым М. В. Ломоносовым. Первые крупные научные исследования по прокатному производству были поставлены в России (И. А. Тиме, Индикаторные опыты над прокаткой стальных рельсов и балок, Горный журнал № 1, 1883).

Громадный вклад в науку об обработке металлов давлением был внесен русскими учеными: Д. К. Черновым, Р. Тонковым, А. П. Гавриленко, В. Е. Грум-Гржимайло, А. Ф. Родзевич-Белевичем, Н. С. Верещагиным, Н. С. Курнаковым, Н. Гутовским, С. Н. Петровым, А. П. Виноградовым, А. Ф. Головиным, Л. С. Лейбензоном, К. Ф. Неймайером, К. Ф. Грачевым, С. П. Порецким, Н. А. Соболевским, В. Н. Рудбахом, П. С. Истоминым, П. Т. Емельяненко, А. Е. Хейном и многими другими.

Большая и успешная работа, проведенная в СССР по углублению и расширению знаний в области пластической обработки металлов, была тесно связана с развитием других теоретических и прикладных наук. Первое существенное достижение советской науки заключается в том, что она глубоко проникла в очень многие практические вопросы, связанные с обработкой металлов давлением.

Характеризуя состояние науки об обработке металлов давлением в СССР, необходимо указать, что еще не так давно разные виды обработки давлением рассматривались сами по себе, без общего теоретического анализа. В значительной мере трудами советских ученых было показано, что все эти процессы можно рассматривать не оторванно один от другого, а как частные случаи



протекания единого процесса пластической деформации в известных условиях. В дальнейшем изучение различных процессов обработки давлением получило новые возможности благодаря применению общей теории пластичности.

Изучение частных условий, характерных для различных процессов обработки давлением, позволило советским ученым глубоко развить теорию этих процессов.

Большое количество исследований было проведено по процессу прокатки, общая теория которой развита главным образом советскими учеными.

Большим успехом советской науки явилось, в частности, доказательство возможности сверхобжатий при прокатке и увеличения суммарной вытяжки между промежуточными отжигами.

Крупное значение имеют достижения советской науки в изучении процессов производства труб и некоторых смежных процессов. Проведенные в СССР исследования и опубликованные труды содержат ценные материалы по процессам косой и поперечной прокатки, прокатки на автоматических станах, по процессу пильгерования, формовки сварных труб, по выдавливанию на прессах и пр.

Опытные исследовательские работы по процессу волочения и математическая разработка теории волочения также получили у нас большое развитие.

Впервые в Советском Союзе были рассмотрены, исходя из теории пластичности, основные процессы ковки и штамповки с разработкой методов практических расчетов и с анализом многих частных случаев указанных процессов.

Значительны достижения советской науки и по изучению состояния металла до обработки, во время обработки и после обработки. Не останавливаясь на ценных частных результатах, уместно указать некоторые основные положения, относящиеся ко всем видам обработки давлением.

Первым важным выводом явилось положение о том, что нет вообще металлов с вполне устойчивыми свойствами (хрупких или пластичных), что свойства их заметно зависят от условий обработки. Тем самым был дан стимул к изысканию наивыгоднейших условий для каждого данного случая обработки и к установлению общих законов, управляющих этими условиями.

В отличие от старой теории, согласно которой строение и свойства металла зависят от условий лишь последней операции, экспериментальные данные, полученные в СССР, доказали, что необходимо учитывать всю совокупность технологических процессов в их взаимной связи.

Для советских заводов в настоящее время характерны строжайшие требования к соблюдению установленного порядка и режима всех операций. Разработка сводных пооперационных схем

и технологических инструкций ведется весьма тщательно, с учетом влияния режима всех основных процессов на свойства готового продукта.

При этом имело большое значение установление правильного понятия *сопротивления деформации* металла в данном процессе в качестве сложной величины, зависящей от многих факторов; оно было противопоставлено величине предела прочности, применявшейся многими еще не так давно. Было уточнено также понятие *пластичности металла* в смысле его способности остаточно деформироваться без разрушения. По обоим этим важнейшим показателям были получены обширные опытные материалы.

Во многих случаях обработки металлов давлением не вся масса металла одновременно находится под действием инструмента. Впервые в Советском Союзе было обращено внимание на *взаимодействие* между частями металла, находящимися вне инструмента (внешние части тела) и металлом в самой зоне деформации. С этим взаимодействием связан ряд явлений и следствий, которые необходимо учитывать при анализе соответствующих процессов обработки.

Существенным достижением явился обобщенный анализ неравномерной деформации. Были изучены сложные явления взаимодействия частей полосы, обжимаемых в разной степени, вопросы выравнивания вытяжек, вынужденной поперечной деформации и пр.

В связи с неравномерностью деформации велись исследования скольжения металла по контактным поверхностям, в сопоставлении с переходом на них боковых поверхностей деформируемого тела. Весьма большой интерес представило опытное и теоретическое исследование нового вопроса слипания инструмента и обрабатываемого тела при ковке и прокатке, что нашло отражение в теории этих процессов.

Большим шагом вперед следует считать изучение советскими учеными поперечной и продольной деформации при прокатке в гладких валках и сложных условий прокатки в калибрах.

Советская наука занимает одно из первых мест в разработке общей теории напряжений и деформаций. Существенна и разработка теоретических вопросов обработки металлов давлением на основе этой общей теории.

Следует отметить при этом ряд исследований распределения напряжений по поверхности контакта при ковке и прокатке с точной записью соответствующих кривых; впервые в мировой практике такие исследования были распространены также на прокатку в калибрах, причем было изучено влияние условий неравномерной деформации.

Ценным достижением явился обобщенный анализ различных формул работы деформации с общим их выводом и с получением



частных решений, охвативших известные ранее разрозненные формулы.

В связи с вопросами определения давления и работы необходимо указать также на большие успехи советской науки в области изучения явления трения по контактным поверхностям и влияния технологической смазки. Следует отметить изучение влияния совместного действия кривизны (вогнутости и выпуклости) деформирующего инструмента и сил трения, что особенно характерно для процесса ковки и прокатки.

В настоящее время перед наукой о пластической обработке металлов стоят важные научно-практические задачи, решение которых будет способствовать развитию технического прогресса в металлургической и машиностроительной промышленности.

Многие из вопросов, бегло затронутых нами во введении, более подробно излагаются в последующих разделах книги.

## ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В КНИГЕ

Размеры деформируемого тела (слитка, болванки, штуки, полосы, заготовки, листа, ленты и пр.):

$H$ — высота (толщина) до обработки (исходная, начальная);

$h$ — высота (толщина) после обработки (конечная);

$B_1$ — ширина до обработки (исходная, начальная);

$B_2$ — ширина после обработки (конечная);

$L_1$ — длина до обработки (исходная, начальная);

$L_2$ — длина после обработки (конечная);

$S_1;\omega_1$ — площадь поперечного сечения до обработки (исходная, начальная);

$S_2;\omega_2$ — площадь поперечного сечения после обработки (конечная);

$V$ — объем;

$M$ — масса.

Напряжения и деформации:

$p$ — сопротивление деформации;
$p$ — удельное давление;

$\sigma_1$ — максимальное главное напряжение;

$\sigma_2$ — среднее главное напряжение;

$\sigma_3$ — минимальное главное напряжение;

$k$ — сопротивление деформации при линейном напряженном состоянии ($\sigma_0$);

$t$ — элементарные силы трения (напряжения);

$\sigma_{пч}$ — предел прочности;

$\sigma_{уп}$ — предел упругости;

$\sigma_т$ — предел текучести;

$E$ — модуль упругости;

$\varepsilon$ — относительная упругая деформация;

$\delta$ — относительная остаточная деформация (удлинение);

$\eta$ — относительная полная деформация;

$\mu$ — вытяжка $\left(\mu = \frac{L_2}{L_1}\right)$;

$\mu_c$ — средняя вытяжка.

Силы:

$P$ — давление металла на рабочий обрабатывающий инструмент.

$R$ — реакция со стороны инструмента на металл;

$T$ — сила трения;

$F, Q$ — дополнительные обозначения сил.

Скорости:

$v$ — окружная скорость прокатных валков;

$v_1; v_н$ — скорость металла перед входом в зону деформации;

$v_2; v_h$ — скорость металла после выхода из зоны деформации.

Углы и дуги:

$\alpha$ — угол захвата (касания) при прокатке;

$\beta$ — угол трения;

$\gamma$ — критический угол при прокатке;

$\delta, \varphi, \psi$ — переменные углы;

$S$ — длина дуги;

$S_\alpha$ — длина дуги захвата (касания) при прокатке.

Разное:

$f$ — коэффициент трения;

$n$ — число оборотов в минуту;

$S_h$ — опережение при прокатке;

$S_н$ — отставание (скольжение) при прокатке;

$N$ — мощность;

$A$ — работа;

$\eta$ — коэффициент полезного действия (к. п. д.);

$\Delta$ — плотность.

---

ЧАСТЬ I

# ТЕОРИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

*Глава I*

# ФОРМА ТЕЛА

Форма (собственная) твердых тел является их характерным свойством (наряду с составом, весом, прочностью, цветом и пр.), отличающим их от жидкостей и газов. Получение твердого тела определенной формы возможно трояким образом.

А. Образование формы с отделением избытка вещества от массы тела, т. е. с уменьшением массы тела. Получение таким путем металлических полупродуктов и изделий очень распространено. Сюда относится механическая обработка: строжка, фрезерование, обточка, сверление, вырезка, разрезка на части, вырубка, откалывание. разламывание на куски и пр. Кроме того, удаление избытка металла может достигаться электроэрозией (действие искрового разряда или электрической дуги), электролитическим растворением, обычным растворением в кислотах, местным оплавлением и сжиганием. Отделение избытка металла или разделение на части механическими способами требует значительных усилий, причем переход металла в отходы (стружка, обрезки) связан с его обесцениванием и тем самым с удорожанием производства изделий. Малая выгодность таких процессов заставляет применять их только в качестве завершительных, когда размеры заготовки уже заранее приближены к готовому изделию посредством более выгодных процессов (фасонное литье, обработка давлением).

Особенностью рассматриваемых способов (А) является также отсутствие воздействия на строение и свойства основной остающейся массы металла.

Б. Образование формы, в частности получение металлических полупродуктов и изделий, постепенным осаждением или наращиванием массы или соединением отдельных частей, т. е. увеличением массы тела. Сюда относятся следующие процессы.

*Литье*, разделяющееся на фасонное литье и на литье слитков, предназначаемых для обработки давлением. Наращивание массы твердого тела происходит в этом случае путем кристаллизации металла из расплава.

*Осаждение* с наращиванием металлического слоя: электроли-

тическое, химическое (также осаждение из парообразного состояния).

*Сварка, спайка, спекание, склепывание, скрепление, склеивание*, дающие соединение отдельных металлических частей с достижением заданной формы готового более или менее сложного изделия. В частности, сюда относится получающее большое распространение производство металлокерамических изделий путем спрессовывания и спекания металлических порошков (изготовляемых методами порошковой металлургии).

К особенностям данных способов (Б) можно отнести: а) необязательность получения отходов (если они не получаются по технологическим причинам); б) возможность воздействовать на строение и свойства получаемых изделий, подбирая наиболее подходящие исходные материалы и наивыгоднейший режим самих процессов (кристаллизация, осаждение, спекание).

В. Образование формы тела с сохранением его массы, что возможно только при взаимном перемещении частиц тела в процессе его пластической деформации при наличии необходимой пластичности металла. Под пластичностью при этом понимается способность твердого тела устойчиво изменять свою форму без разрушения, в связи с чем пластическую деформацию называют также остаточной деформацией.

Однако, обладая необходимой пластичностью, тело не утрачивает своих упругих свойств полностью. Поэтому полная деформация тела ($\varepsilon + \delta$) всегда имеет две составляющие: $\varepsilon$ — упругую и $\delta$ — пластическую (рис. 7). Для обработки давлением выгодно, чтобы первая составляющая у обрабатываемого тела была наименьшей (горячая обработка металлов давлением).

Устойчивое сохранение произведенной деформации может отсутствовать по двум причинам: а) тело не проявляет пластичности, оно деформируется только упруго и восстанавливает свою начальную форму после удаления нагрузки (или разрушается, если был достигнут предел прочности), б) тело не способно иметь собственную форму благодаря своей текучести; в этом случае само вещество находится не в твердом состоянии, а в промежуточном между твердым и жидким или в жидком состоянии.

Пластическая деформация лежит в основе всех способов обработки металлов давлением. Кроме особых, мало еще освоенных процессов бесслитковой обработки давлением (прокатки, ковки), когда металл подается в механизм в расплавленном состоянии, во всех обычных случаях обработки давлением металл поступает в механизм и выходит из него как твердое тело вполне определенной формы. В момент же самой обработки состояние металла определяется всеми действующими условиями, что будет рассматриваться позже.



Наряду с получением тел требуемой формы процесс обработки металлов давлением влияет на строение и свойства металла. Подбирая условия обработки, можно изменять качество обрабатываемого продукта в желательном направлении.

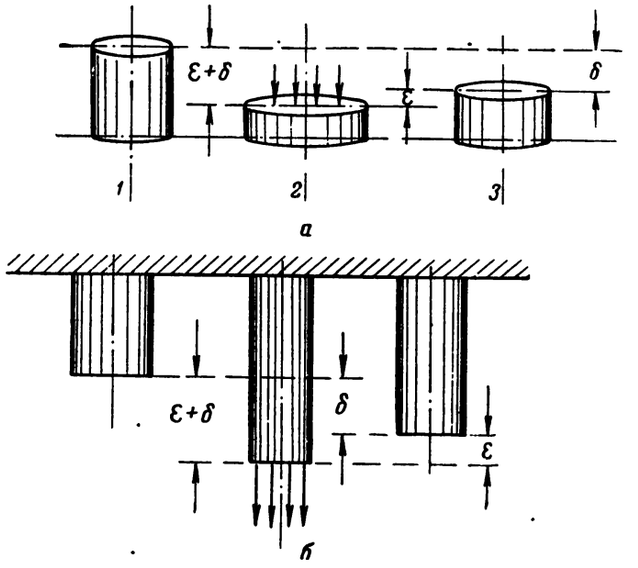



Рис. 7. Схема остаточной и упругой деформаций:

*а* — при растяжении; *б* — при сжатии; *1* — до деформации; *2* — под нагрузкой; *3* — после разгрузки

Сами по себе процессы обработки давлением не требуют получения отходов, образующихся лишь по технологическим причинам.

Постепенное утонение и вытяжка металла при обработке давлением сопровождается значительным возрастанием стоимости продукта, особенно изделий очень тонких (тонкостенные трубы малого диаметра, тончайшая проволока, тонкие листы и лента).

Обработка металлов давлением имеет важные преимущества перед обработкой резанием в отношении экономии металла, повышения производительности труда, уменьшения расхода энергии, экономии производственных площадей и т. д. Однако обработка металлов резанием дает возможность получения изделий с весьма чистой поверхностью и точных размеров. В ряде случаев таких же результатов можно добиться при применении холодной обработки давлением на отделочных операциях.

Важным направлением технического прогресса в советской металлообрабатывающей промышленности является постепенная замена обработки резанием прокаткой, протяжкой и штамповкой.

## *Глава II*

# ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ

### 1. Механизм пластической деформации; явление упрочнения — наклепа

Если в первой четверти настоящего столетия пластическая деформация понималась крайне упрощенно — как движение частиц металла, похожее на движение жидкости, то в настоящее время этот процесс рассматривается как весьма сложный, связанный со строением металлического вещества и с происходящими в нем явлениями. Особенно сложны эти явления при горячей обработке давлением.

Так, акад. А. А. Бочвар считает, что здесь участвует по крайней мере четыре механизма: 1) сдвиговой, или дислокационный; 2) аморфно-диффузионный; 3) межфазового перемещения через растворение и осаждение; 4) межзеренного перемещения при наличии рекристаллизации. Это показывает, насколько значительно деформация металлов определяется явлениями, свойственными именно металлическому веществу.

Как известно, металлы состоят из связанных между собой зерен, имеющих кристаллическое строение и обладающих анизотропией свойств.

На рис. 8 приведена модель распределения предела прочности для однокристальной (для монокристалла) красной меди. В зависимости от направления значение $\sigma_{пч}$ получается в пределах 12—35 *кг/мм*$^2$.

Ориентация зерен в литом металле более или менее случайна. Зерна имеют хаотическое расположение в центральных частях слитка, а в поверхностных зонах преобладают определенные ориентировки. Глубокие степени рекристаллизации дают хаотическое расположение зерен, т. е. отсутствие их общей ориентировки.

Однако металл, состоящий из отдельных зерен кристаллического строения, даже при хаотическом их расположении, нельзя считать изотропным в полном смысле, его называют квазиизотропным (условно изотропным; рис. 9, слева). Скрытая кристалличность такого металла проявляется, в частности, при пластической деформации, которая протекает в соответствии с анизотропией отдельных зерен (переходя от зерна к зерну в порядке их ориентации по отношению к действующим силам).



Ясно, что многозеренный (поликристаллический) металл может быть анизотропным только при одинаковой ориентировке зерен, к такому состоянию металл приходит, в частности, под воздействием холодной обработки давлением в одном преимущественном направлении.

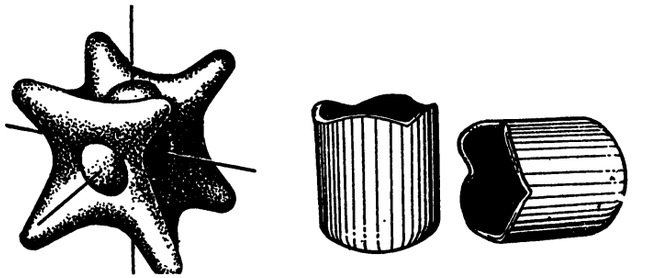


Рис. 8. Пространственная модель зависимости предела прочности монокристалла меди от направления испытания (слева). Явление фестонитости при штамповке колпачков (справа)

В зависимости от относительной прочности зерен и междузеренной связи могут в разной степени развиваться деформация со взаимным смещением зерен (чему способствуют малые скорости деформации и высокие температуры) и деформация за счет изменения формы самих зерен (что отвечает большим скоростям деформации и не столь высоким температурам).

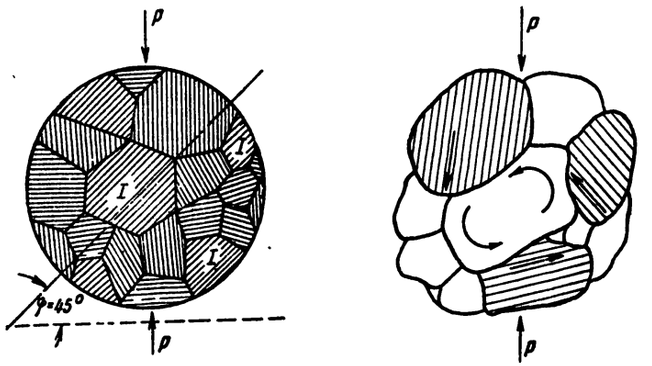



Рис. 9. Схема хаотического расположения зерен, предопределяющего квазиизотропность металла и последовательное развитие пластической деформации (слева). Схема поворота зерна под воздействием соседних зерен (справа)

Деформация многозеренного металла резко отличается от деформации однозеренного металла; это отличие вызывается взаимным воздействием зерен, изменяющим картину напряженности

зерен под влиянием заданных «исходных» деформирующих сил; большая роль принадлежит и междузеренной связи.

Начало пластической (остаточной) деформации однозеренного металла сопровождается появлением на поверхности зерна линий скольжения (рис. 10, слева), свидетельствующих о возникновении в самом зерне плоскостей скольжения.

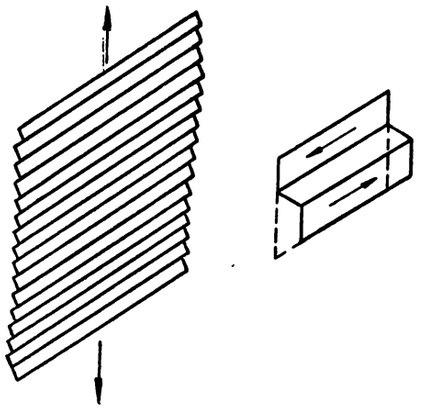


Рис. 10. Схемы скольжения по плоскости скольжения (слева) и явления двойникования (справа) при пластической деформации металла

Кроме того, пластическая деформация может происходить и за счет двойникования (рис. 10, справа), также дающего картину параллельных линий (на поверхности тела), трудно отличимую от картины линий скольжения.

Скольжение, возникшее по некоторой плоскости, в дальнейшем тормозится, и плоскость оказывается упрочненной, причем возникает скольжение по новым плоскостям. Сама пластичность металла, таким образом, может расцениваться как способность металла давать плоскости скольжения (например, ограниченная способность к скольжениям имеется у сплавов магния и несколько менее у сплавов титана в холодном состоянии в связи с их гексагональным кристаллическим строением).

По теории аморфизации при скольжении образуется слой дезорганизованных атомов, в дальнейшем спаивающий вплоть до полного торможения обе смещающиеся поверхности. Согласно более поздним взглядам по плоскостям скольжения образуются металлические обломки, которые при известной их ориентировке соединяются и затормаживают дальнейшее скольжение.

Явлению скольжения предшествует упругое искажение кристаллической решетки, которое возрастает при дальнейших смещениях. С ростом числа плоскостей скольжения увеличивается и количество резко искаженных участков решетки, а благодаря этому и жесткость металла.

Обращено внимание также на то, что явления по плоскостям скольжения сопровождаются выделением тепла с последующей передачей тепла всей массе металла. Элементарное скольжение, следовательно, может сопровождаться и расплавлением металла с мгновенным после того охлаждением ожиженного слоя, что дает возможность объяснить и периодичность скольжения.



Новейшая дислокационная теория деформации учитывает наличие в теле зерна разного рода неоднородностей. Считается, что смещение металла происходит не сразу по всей плоскости скольжения, а последовательно, причем оно возникает в определенном месте, где существует дислокация металла. Под дислокацией понимается местное искажение или нарушение правильности атомной решетки. Само смещение является движением дислокации, распространяющимся в определенном направлении.

Из отмеченных выше четырех механизмов деформации (А. А. Бочвар) к холодной деформации относится только первый — сдвиговый или дислокационный, причем сама холодная деформация может влиять на равновесие металлической системы, способствуя, например, распаду пересыщенных твердых растворов, что может сказываться и на условиях деформации.

Рассмотрим ход деформации многозеренного металла. При сжатии (или растяжении) тела по некоторой оси наибольшие касательные напряжения действуют в плоскостях под углом 45° к этой оси. По всем прочим плоскостям (с углом наклона $\varphi$ большим или меньшим 45°) действуют уже меньшие касательные напряжения.

Направления плоскостей скольжения (или двойникования) в отдельных зернах различны в зависимости от их ориентировки. При этом найдутся зерна, у которых направления легчайшего скольжения (или двойникования) совпадут с плоскостями наибольших касательных напряжений. Подобные зерна *I* должны начать деформироваться раньше других зерен (рис. 9, слева).

По мере увеличения нагрузки растут и касательные напряжения в любой из плоскостей. Деформация в зернах, где уже возникли плоскости скольжения (двойникования), развивается дальше, число этих плоскостей возрастает, форма зерен начинает искажаться. Вместе с тем оказываются нестойкими те зерна, наклон плоскостей которых был не 45°, а иной, например 30°. Касательные напряжения в плоскостях под углом 30° (и под другими углами) повышаются и в известный момент становятся равными сопротивлению скольжения в соответствующих зернах. Таким образом, все большее число зерен охватывается деформацией, число плоскостей скольжения (двойникования) возрастает, а их направления становятся все более разнообразными.

При всем этом зерна подчиняются общим условиям деформации тела, обжимаясь, вытягиваясь и уширяясь соответственно данной схеме деформации, как и все тело в целом. В результате при вытяжке металла по одной оси образуется волокнистая структура. Поскольку склонность к деформации у разных зерен раз-

лична (в зависимости от их ориентировки), то часть зерен принудительно воздействует на отстающие, а последние, менее податливые зерна тормозят деформацию более податливых, что вызывает резкую неоднородность напряженного состояния деформируемого металла.

При этом должны возникать и пары сил, вызывающие поворот зерен и изменяющие их ориентировку (рис. 9, справа).

Таким образом, общая картина пластической деформации многозеренного (т. е. обычного) металла является сложной и имеющей отклонения в различных точках тела.

Общая ориентация зерен, сообщающая металлу анизотропность, является следствием деформации тела в одном преимущественном направлении (вытяжка).

Если после холодной обработки металл приобретает анизотропность, то для металлов кубической системы характерно диагональное расположение элементов кристаллической решетки относительно этой оси, что и определяет так называемую текстуру металла после обработки (имеющую свои частные особенности для прокатки, волочения и пр.).

Модель анизотропности для металлов кубической системы дает наибольшую разницу в механических свойствах для образцов под углом 45° и по самим главным осям, что характерно и для анизотропного деформированного многозеренного металла.

Ярким проявлением анизотропности являются симметричные неровности (фестоны) по краю колпачков при холодной штамповке их из кружков, вырубленных из полос стальных, медных, латунных и пр. Вид неровностей соответствует как модели анизотропности, так и симметрии кубической системы (см. рис. 8).

Явление фестонистости вызывает излишние отходы металла, вредно отражается на работе штампсвочного инструмента и требует борьбы с ним.

В данном случае имеется кристаллическая анизотропность, т. е. различие свойств вызвано только общей ориентировкой кристаллических элементов. В отличие от кристаллической анизотропности, при механической анизотропности действует продольная волокнистость обработанного металла с расположением вдоль волокон вытянутых неметаллических включений. Благодаря механической анизотропности наблюдается разница между результатами испытаний продольных и поперечных образцов, что также имеет очень важное практическое значение.

Заметим, что для некоторых целей анизотропность обработанных изделий может быть полезной, и тогда умышленно создают известную текстуру металла, используя весьма заметную разницу в свойствах металла в некоторых направлениях, сравнительно со средними свойствами квазиизотропного металла.

Остановимся теперь на зависимости механических свойств металла от наклепа.



Развитие наклепа металла под действием обработки давлением характеризуется диаграммами наклепа (рис. 11). Из диаграмм можно заключить, что упрочнение металла при холодной обработке протекает особенно интенсивно в первых ее стадиях. После же достижения примерно двух-, трехкратной вытяжки (50—67% деформации) интенсивность уже заметно снижена, причем металл имеет ярко выраженную волокнистую структуру.

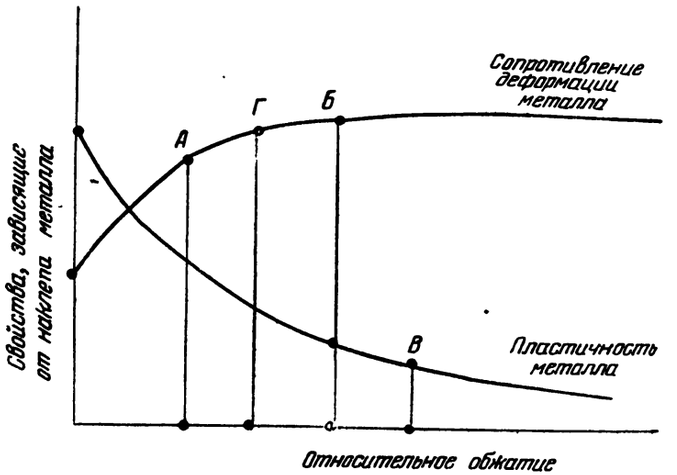



Рис. 11. Диаграмма наклепа металла при холодной обработке давлением

Ввиду того, что по мере обработки металл утрачивает пластические свойства, после известного обжатия дальнейшая обработка делается невыгодной или невозможной. Чтобы получить возможность дальнейшей обработки такого металла, необходима его рекристаллизация, дающая обратное изменение свойств металла: повышение пластичности и падение жесткости.

При работе на старом маломощном оборудовании учитывалось повышение жесткости металла при наклепе, что оправдывало отжиг после очень незначительной холодной обработки (рис. 11, граница *А*).

Тот же смысл имела и старая норма наклепа между отжигами, определявшаяся двухкратным обжатием или вытяжкой (рис. 11, граница *Г*). С переходом на новое оборудование эта норма утратила значение, причем необходимость отжига стала определяться уже другим фактором: падением пластичности металла (рис. 11, нижняя кривая, граница *В*). Соответствующая практическая зна-

чительно возросшая величина обжатия и вытяжки между отжигами дана в табл. 1.

*Таблица 1*

**Значения вытяжки между отжигами для разных металлов и сплавов**

| Металлы и сплавы | $\frac{H-h}{H}$, % | Вытяжка $\mu$ |
|---|---|---|
| Старая норма | 50 | 2 |
| Сталь, дуралюминий, латунь | 67 | 3 |
| Малоуглеродистая мягкая сталь, алюминий | 75 | 4 |
| Медь | 80 | 5 |

При обработке наготово обжатие в последней операции определяется еще иначе, исходя из требований к свойствам изделия (например, граница Б).

## 2. Рекристаллизация и горячая обработка металлов давлением

Процесс рекристаллизации имеет значение:

1) при операции отжига наклепанного металла (отжиг промежуточный или окончательный),

2) при горячей обработке давлением, когда рекристаллизация происходит во время самого процесса, и после, пока температура металла не упадет ниже известного предела.

**От рекристаллизационного отжига надо отличать отжиг, связанный с полиморфными превращениями металла.**

**Рекристаллизация наклепанного железа начинается при температуре порядка 450°, когда никаких превращений нет, и может проходить с большой скоростью уже при температуре 600—650°.**

На рис. 12 представлена диаграмма зависимости механических свойств стали от времени отжига. Чем выше температура рекристаллизации, тем энергичнее протекает изменение свойств, причем вначале происходит быстрое изменение свойств, после чего наступает затухание. Таким образом, для практики ценны только начальные участки кривых; продолжать отжиг (при данной температуре) дольше известного времени нет смысла (не говоря о времени, необходимом для теплопередачи).

Диаграмма механических свойств в функции температуры отжига дана на рис. 13 (продолжительность отжига взята такой, что свойства металла изменяются уже мало). Кривые *1—1* (сплошные) относятся к большему начальному наклепу металла, чем кривые *2—2* (пунктирные). Увеличение $\sigma_{пч}$ в начале диаграммы объясняется выравниванием зональных остаточных напряжений по сечению при температурах ниже начала рекристаллизации.



Ухудшение свойств металла после известных температур отжига связано с чрезмерным ростом зерна и называется перегревом. Далее наступает явление пережога, при котором имеется ухудшение междузеренной связи вплоть до полного ее нарушения вследствие окисления и оплавления.

Изготовление готового продукта путем окончательного отжига (при известном режиме) наклепанного металла дает лучшие качества металла, чем получение его путем некоторого наклепа. При этом увеличение наклепа, предшествующего отжигу, повышает свойства готовых изделий.

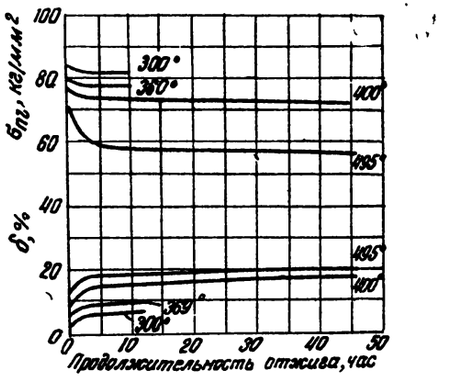



Рис. 12. Диаграмма зависимости механических свойств холоднотянутой стали (0,08% С) от длительности отжига при разных температурах

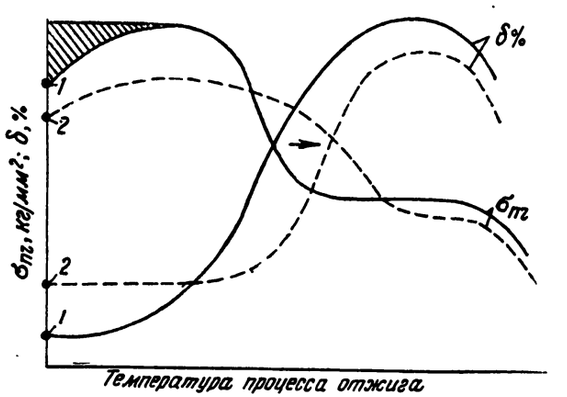



Рис. 13. Диаграмма изменения механических свойств наклепанного металла в результате отжига при различных температурах

Для получения мелкозернистости следует избегать рекристаллизации слабо наклепанного металла. Однако после очень боль-

ших деформаций зерно также может стать крупным: второй максимум на диаграмме рекристаллизации. Наклеп между отжигами приходится ограничивать из-за разрушения металла благодаря утрате пластичности.

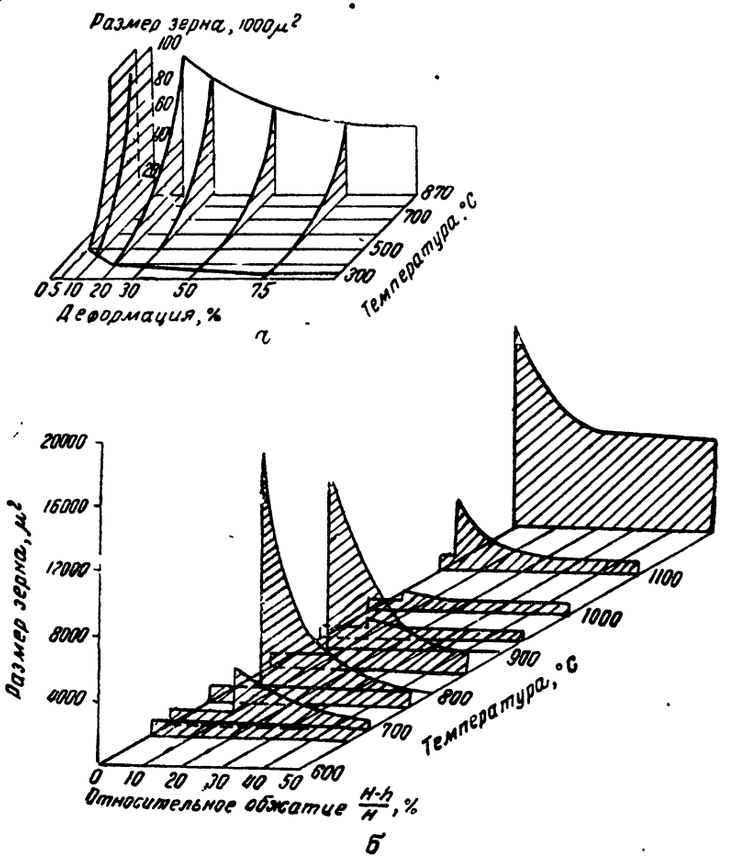



Рис. 14. Диаграммы рекристаллизации:

*а* — холоднообработанное электролитическое железо; *б* — мягкая сталь (0,03% С) при горячей прокатке

Процесс рекристаллизации полностью снимает изменения в свойствах металла, вызываемые наклепом. Однако и до рекристаллизации металла происходит некоторое изменение или «возврат» свойств, не сопровождающееся изменением структуры металла, а связанные со снятием зональных напряжений (возникших при холодной обработке давлением). Зависимость размера зерна после рекристаллизации от степени предшествующей холодной деформации, а также после горячей деформации (см. ниже) показана на рис. 14.



Очень наглядно она может быть прослежена при сжатии образцов между шероховатыми плитами (рис. 15), при рекристаллизации изогнутого образца и пр.

Как отчетливо видно из диаграмм (см. рис. 14), по мере повышения температуры рекристаллизации размер зерна увеличивается с возрастающей интенсивностью вплоть до конца диаграммы (полиморфных превращений мы здесь не касаемся). Кроме того, с увеличением относительной деформации тела температура начала рекристаллизации понижается.

Переходя к горячей обработке металлов давлением, заметим, что сами понятия холодной и горячей обработки требуют уточнения. Прокатка медной полосы при комнатной температуре признается холодной, а при 750° горячей; однако можно прокатать такую полосу и при любой промежуточной температуре, причем отнесение каждого такого процесса к холодной или горячей обработке будет уже затруднительным. Особенностью холодной обработки является отсутствие рекристаллизации металла во время самого процесса, причем наклеп развивается в полной мере.

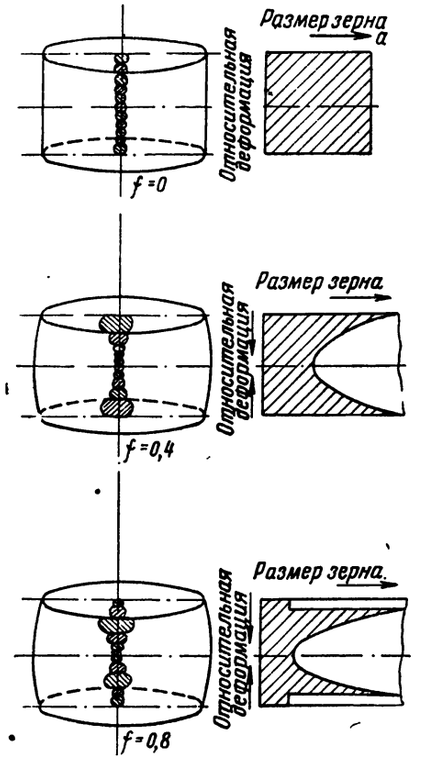



Рис. 15. Распределение размера зерна по центральной оси образцов после их осаживания в разных условиях трения ($f = 0$; $f = 0{,}4$; $f = 0{,}8$) и после рекристаллизации

При горячей обработке рекристаллизация происходит и во время пребывания металла в зоне деформации и после выхода из нее (пока температура металла не упадет ниже известного предела), что дает сложную картину развития и устранения наклепа.

При этом дополнительно воздействует так называемый возврат — разупрочнение, происходящее ниже температур рекристаллизации не за счет снятия наклепа, а благодаря уменьшению внутренних напряжений в металле. Имеются технологические процессы, включающие возврат в качестве промежуточной операции, причем можно применять электрические способы нагрева, местный нагрев газовыми горелками и пр. Явление возврата в известной мере может протекать и при холодной обработке, так как она сопровождается интенсивным выделением тепла и разогревом металла (возможна даже частичная рекристаллизация металла).

Сопоставляя рекристаллизацию металла после холодной обработки и во время горячей обработки давлением, можно заключить, что то и другое относится к одному и тому же физическому процессу, вплоть до общности самих результатов рекристаллизации, охватывающих изменение структуры металла, свойств металла, зависимость размера зерна от деформации и температуры и т. д.

На рис. 14 показана диаграмма рекристаллизации железа при горячей прокатке (разделение на две области при температурах порядка 900° стоит в связи с полиморфным превращением железа).

Диаграммы рекристаллизации при горячей обработке и после холодной обработки необходимы для решения вопросов о качестве получаемого продукта.

В частности, диаграммы дают указания о возможном режиме получения зерна тех или иных размеров (размер зерна после горячей обработки не имеет значения, если в дальнейшем предстоят повторные нагревы и горячая обработка или имеется в виду еще специальная термическая обработка).

### 3. Влияние состава металла, температуры и скорости деформации

Состав металла в большинстве случаев является заданным в узких пределах и сам уже влияет на подбор условий обработки давлением. Общий, выраженный в математической форме закон, определяющий свойства металла в зависимости от его состава и строения, неизвестен. Однако выяснение относящихся сюда закономерностей ведется весьма усиленно, с приоритетом нашей отечественной науки в этой области (акад. Н. С. Курнаков, акад. А. А. Бочвар и др.).

Влияние состава металла на свойства невозможно отделить от связанного с составом строения металла. Что касается атомного строения, то прямого соотношения между типом атомной решетки и пластичностью металла заметить не удается. Можно считать, что наибольшей пластичностью обладают чистые металлы и твердые их растворы, наименьшей — их химические соединения. Большое значение для обработки давлением имеют малые количества химических элементов, ничтожное содержание которых в металле может изменить всю технологию обработки и часто делает ее неосуществимой (влияние вредных примесей).



В целом состав металла является основным фактором, определяющим режим обработки; различные характеристики, получаемые при механических испытаниях, также в основном зависят от состава металла.

В тесной связи с составом находится и зависимость свойств металла от температуры. Имеется большое количество опытных данных о зависимости сопротивления деформации металла $p$ от температуры обработки металла, которые отражают также и влияние условий напряженного состояния данного процесса.

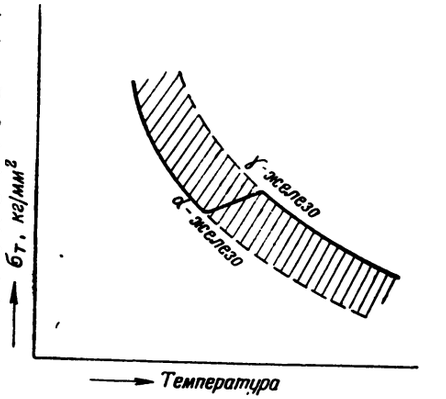



Рис. 16. Кривые предела текучести для α-железа и γ-железа с переходом между ними

Для расчета усилий при обработке металлов давлением механические свойства деформируемого металла при заданных температуре и скорости обработки обычно характеризуют пределом текучести $\sigma_т$. Опыты показывают, что предел текучести γ-железа относительно выше, чем у α-железа, что видно на рис. 16.

При очень высоких температурах сталь с высоким содержанием углерода имеет более низкий предел текучести, чем мягкое железо, несмотря на то, что при низких температурах имеет место прямая зависимость предела текучести от содержания углерода в стали.

Используя для характеристики пластичности ударные испытания, находят интервалы наибольшей вязкости, соответствующие наилучшей сопротивляемости металла разрушению, т. е. наибольшей пластичности при обработке давлением (очень важно знать и интервалы наименьшей вязкости).

Так, технически чистое железо имеет интервал хрупкости (красноломкость), заставляющий прекращать горячую обработку на время, пока металл находится при температурах, соответствующих данному интервалу (хрупкость, повидимому, связана с присутствием в мягком железе малых количеств серы при недостаточном содержании марганца) (рис. 17).

В заключение отметим, что при низких температурах обнаруживается постепенное падение пластичности стали вплоть до полного ее исчезновения при одновременном росте жесткости металла.

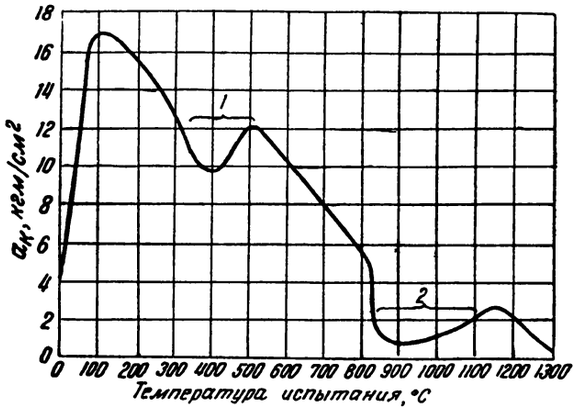



Рис. 17. Зависимость ударной вязкости от температуры для технически чистого железа (по Галлаю и Злотникову):
*1* — зона синеломкости; *2* — зона красноломкости

Это явление имеет большое практическое значение уже в пределах тех низких температур, которые могут встретиться в зимних или высотных условиях (влияние низких температур на свойства стали не является общим для всех металлов).

Переходя к скоростным условиям обработки металлов давлением, необходимо отметить, что эти условия настолько тесно связаны с температурными, что принято говорить о температурно-скоростных условиях обработки металлов давлением [3].

Рассмотрим влияние скорости, полагая, что температурные границы процесса постоянны.

При различной длительности деформации рекристаллизация во время самой деформации успевает совершиться в разной степени.

Длительность деформации металла при горячей прокатке очень мала, она измеряется сотыми долями секунды (с длительностью процесса деформации нельзя смешивать длительность прокатки полосы в целом от одного конца до другого). Весьма короткое время длятся процессы деформации и при горячей ковке.

При таком коротком времени рекристаллизация полностью завершиться, конечно, не может и всякое увеличение времени должно резко сказываться на степени завершения этого процесса. Но чем полнее проходит рекристаллизация, тем выше пластические свойства металла и ниже его сопротивление деформации. Таким образом, уменьшение скорости горячей обработки давлением



(при данной температуре) снижает сопротивление деформации металла и увеличивает его пластичность. Однако это не должно препятствовать повышению скорости обработки металлов, в частности, скорости прокатки, так как в большинстве случаев запас пластичности металла достаточно высок.

Говоря о скорости обработки давлением, мы имели в виду скорость прокатного стана, скорость работы пресса и пр. при определенном обжатии металла. Таким образом, скорость деформации менялась у нас пропорционально скорости механизма.

В общем случае необходимо исходить из относительной деформации тела в единицу времени, т. е. брать значения относительной деформации, приходящейся на одну секунду.

Переходя к холодной обработке давлением, рассмотрим сперва процесс, не сопровождающийся возвратом. С увеличением скорости холодной деформации предел текучести возрастает, в то время как пластические свойства ухудшаются.

Холодная обработка давлением при отсутствии возврата возможна при хорошем отводе тепла от инструмента и деформируемого тела и при умеренном выделении тепла в единицу времени, т. е. при малых обжатиях и незначительных скоростях обработки. Такие условия не отвечают передовому направлению в технике.

Переход на высокие скорости обработки и на наибольшие деформации за одну операцию составляет основную проблему обработки металлов давлением. Но именно в таких условиях должен проявляться разогрев металла и инструмента и развиваться явление возврата (если даже не рекристаллизации) с соответствующим увеличением пластичности деформируемого тела. Процессы обработки давлением, происходящие в подобных условиях, являются наивыгоднейшими и им должно принадлежать будущее.

Увеличение скорости относительной деформации означает соответствующий подъем производительности, а благодаря явлению возврата, а, может быть, частично и рекристаллизации металла во время самого процесса обработки сокращается или вовсе устраняется надобность в отдельных операциях отжига наклепанного металла: тепло, выделяющееся вследствие пластической деформации, не пропадает, а полезно в таком случае используется.

Процессы, происходящие в этих наивыгоднейших условиях, будут занимать как раз промежуточное положение между процессами холодной и горячей обработки металлов давлением.

### 4. Связь процесса деформации с состоянием металла. Методы испытания пластичности металла

Строение и свойства продукта обработки отражают условия не только последней операции, но в той или иной мере определяются влиянием всех предыдущих процессов (включая и условия

выплавки металла и пр.). Таким образом, намечая режим данной операции, приходится рассматривать ход всего технологического процесса в целом, имея в виду требования к качествам продукта или изделий, а также учитывая основные факторы самой обработки в данном процессе: пластичность металла и его сопротивление деформации.

Сложность оценки пластичности заключается в том, что она весьма сильно зависит от условий деформации тела, что затрудняет сопоставление результатов тех или иных испытаний опытных образцов с тем, что можно ожидать в условиях реальных процессов. Наиболее надежные сведения о пластичности можно получить при испытаниях на обычном производственном оборудовании в обычных условиях.

Так можно определять пластичность металла, подвергая его прокатке с переменным обжатием: в этом случае за характеристику пластичности принимается то относительное обжатие, при котором на боковых кромках образца начинают возникать трещины. При этом можно применить прокатку клинообразных образцов или прокатывать обычные образцы при постепенном изменении зазора между валками.

Другим примером испытания, приближающегося к условиям обработки, может служить опытная штамповка колпачка.

Штамповка ведется до момента появления трещины на донной части колпачка. Глубина колпачка принимается за характеристику пластичности металла.

Отметим также осаживание образцов между плоскими плитами. О пластичности металла судят при этом по тому наибольшему обжатию, при котором на образцах появляются трещины.

Далее упомянем способы, осуществляемые в особых условиях: различные технологические пробы — на загиб (или на гиб), раздачу, на расплющивание и т. д.

Широко используется проба на перегиб (повторный изгиб) до момента разрушения (мерой пластичности является полное число перегибов).

Наконец, последняя категория способов относится уже к механическим испытаниям, из которых наиболее применимы испытания на разрыв, динамические испытания, испытания на кручение.

Разрывные испытания, как известно, дают две относящиеся сюда основные величины: относительное остаточное удлинение образца $\delta$, %, и полное относительное сужение в шейке $\psi$, %. Особые условия деформации и, кроме того, низкая ее скорость резко отличают испытание на разрыв от процессов обработки металлов давлением. В связи с этим применяют и ударные испытания на разрыв. Однако более распространены обычные ударные испытания на изгиб надрезанных образцов.

Эти динамические испытания дают значения удельной ударной вязкости $a_к$, *кг.м/см²*, характеризующей работу, затраченную на доведение образца до разрушения. Наибольшей стойкости против разрушения, т. е. наибольшей величине $a_к$ отвечает и наибольшая пластичность.



Испытание на кручение также является динамическим, обладающим хорошей чувствительностью; показателем пластичности обычно считается степень деформации образца до его разрушения, измеряемая числом кручений.

Этот метод испытаний особенно применим в трубопрокатном производстве.

Располагая различными характеристиками пластичности, можно пытаться свести их к одной общей оценке.

Так, С. И. Губкин предлагает наносить кривые, полученные различными методами, на одну сводную «диаграмму пластичности», после чего определять показатель средней деформируемости.

Переходя к способам оценки качества готового продукта, заметим, что вопрос решается в связи с существованием на всех заводах СССР системы контроля качества на основе утвержденных стандартов и технических условий (ТУ) на все виды готовых изделий и в ряде случаев на полупродукты.

Кроме испытания продукта общими методами механических испытаний, применяется много практических приемов, имеющих характер технологических проб.

## *Глава III*

# ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ТЕЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ

### 5. Уравнение постоянства объема. Характеристики величины деформации

Литой металл в зависимости от условий процесса литья в большей или меньшей степени содержит усадочные раковины, рыхлость, газовые пузыри, трещины и пр.

Например, удельный вес слитков кипящей стали может быть всего около $\Delta_1 = 6{,}9$ *т/м³* вместо $\Delta_2 = 7{,}85$ *т/м³* после первых стадий горячей обработки.

При дальнейшей горячей обработке металл, уже уплотненный ранее, сохраняет постоянный удельный вес. Холодная обработка давлением, т. е. обработка в условиях отсутствия рекристаллизации металла, когда происходит его наклеп, вызывает очень незначительное уменьшение удельного веса (до 0,25%).

С другой стороны, если наклепанный в результате холодной обработки металл подвергнуть рекристаллизации, то его удельный вес вновь восстанавливается. Поскольку, кроме случаев уплотнения литого металла (при наличии в нем ощутимой рыхлости, газовых пузырей и пр.), удельный вес изменяется очень мало, допускают, что объем металла при обработке давлением остается постоянным

$$V_1 = V_2. \qquad (1)$$

Уравнение (1) постоянства объема широко используется в расчетах изменения формы тел при всех процессах обработки металлов давлением. Если по начальным размерам тела необходимо найти его конечные размеры или, наоборот, по конечным размерам требуется найти его начальные размеры, то уравнение

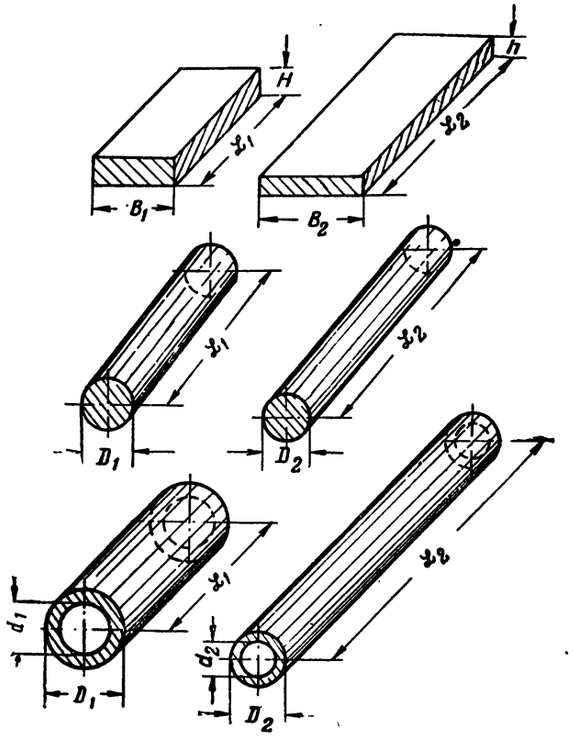



Рис. 18. Размеры тел различной правильной формы до и после деформации

постоянства объема применяется самостоятельно или входит в общую систему уравнений, необходимых для решения поставленных задач.

Исходя из уравнения (1), в зависимости от формы обрабатываемого тела (рис. 18) будем иметь следующие равенства:

для прямоугольного сечения (лист, полоса, заготовка)

$$HB_1L_1 = hB_2L_2; \tag{2}$$



для круглого сечения (пруток, проволока)

$$\frac{\pi D_1^2}{4} L_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} L_2; \tag{3}$$

для кольцевого сечения (труба)

$$\left(\frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4}\right) L_1 = \left(\frac{\pi D_2^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4}\right) L_2$$

или

$$(D_1 - d_1)(D_1 + d_1)L_1 = (D_2 - d_2)(D_2 + d_2)L_2. \tag{4}$$

Очень важной величиной при прокатке, волочении, прессовании через очко и в ряде случаев ковки-штамповки является вытяжка $\mu = \frac{L_2}{L_1}$, характеризующая продольную деформацию металла.

Для прямоугольного сечения

$$\mu = \frac{L_2}{L_1} = \frac{HB_1}{hB_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \tag{5}$$

для круглого сечения

$$\mu = \frac{L_2}{L_1} = \frac{\frac{\pi D_1^2}{4}}{\frac{\pi D_2^2}{4}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2; \tag{6}$$

для кольцевого сечения

$$\mu = \frac{L_2}{L_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4}}{\frac{\pi D_2^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4}} = \frac{\frac{\pi(D_1 + d_1)}{2} \cdot \frac{(D_1 - d_1)}{2}}{\frac{\pi(D_2 + d_2)}{2} \cdot \frac{(D_2 - d_2)}{2}} = \frac{(D_1 + d_1)(D_1 - d_1)}{(D_2 + d_2)(D_2 - d_2)}. \tag{7}$$

Рассматривая кольцевое сечение трубы, замечаем, что величина $\frac{\pi (D + d)}{2}$ есть средняя окружность этого сечения, а $\frac{D - d}{2}$ толщина стенки трубы. Таким образом, вытяжка трубы может вызываться и сокращением сечения трубы по диаметру и уменьшением толщины стенки трубы (развернув кольцевое сечение в

полосу, получаем ширину полосы $B = \pi\frac{D+d}{2}$ и толщину $H = \frac{D-d}{2}$ (рис. 19).

Вытяжка такой полосы может происходить за счет обжатия по ширине и по толщине.

По аналогии с продольной деформацией деформацию тела по ширине удобно именовать поперечной деформацией, а деформацию по высоте — высотной деформацией. В практике часто имеют дело с такими величинами, как обжатие-осадка $H - h$, съем $D_1 - D_2$, уширение $B_2 - B_1$ и пр. Однако эти абсолютные величины не могут дать относительной оценки деформации тела.

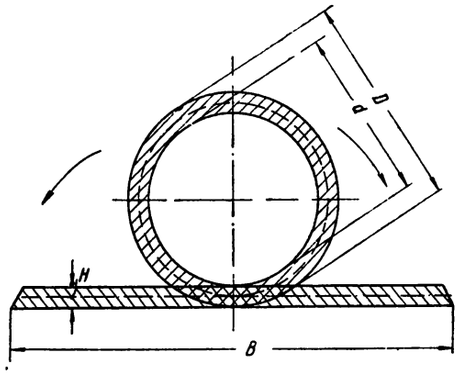



Рис. 19. Геометрическая схема к определению площади сечения трубы

В связи с данным обстоятельством нашли применение относительные величины:

$$\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1};\quad \frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2};\quad \frac{H-h}{H};\quad \frac{H-h}{h};$$

$$\frac{B_2-B_1}{B_1};\quad \frac{B_2-B_1}{B_2};\quad \frac{D_1-D_2}{D_1};\quad \frac{D_1-D_2}{D_2}.\ \text{и т. д.}$$

Переход от выражений $\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1}$ и $\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2}$ к вытяжке $\mu$ и обратно может быть сделан следующим образом:

$$\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} - 1 = \mu - 1 \qquad (8)$$

и обратно:

$$\mu = \frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2} + 1. \qquad (9)$$



Так, при $\mu = 1{,}27$, имеем $\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2} = 0{,}27$; если $\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2} = 0{,}49$, то $\mu = 1{,}49$ и т. д.

$$\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 - \frac{1}{\frac{\omega_1}{\omega_2}} = 1 - \frac{1}{\mu} \qquad (10)$$

и обратно:

$$\mu = \frac{1}{1-\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1}}. \qquad (11)$$

В этом случае, если $\mu = 1{,}27$, то получим

$$\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1} = 1 - \frac{1}{1{,}27} = 0{,}213.$$

при $\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1} = 0{,}49$ находим

$$\mu = \frac{1}{1-0{,}49} = \frac{1}{0{,}51} = 1{,}96 \text{ и т. д.}$$

Из этих примеров видно, что подсчет относительной деформации по исходным размерам тела $\omega_1$ или по конечным размерам $\omega_2$ дает заметную разницу, зависящую от вытяжки:

$$\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2} : \frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1} = \frac{(\omega_1-\omega_2)\omega_1}{\omega_2(\omega_1-\omega_2)} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \mu. \qquad (12)$$

При отсутствии поперечной деформации металла будем иметь $B_2 = B_1$, откуда

$$\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1} = \frac{HB_1 - hB_2}{HB_1} = \frac{H-h}{H};$$

$$\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_2} = \frac{HB_1 - hB_2}{hB_2} = \frac{H-h}{h}$$

В этом случае относительное обжатие металла и вытяжка $\mu$ определяются не по площадям поперечного сечения, а по высотам, причем сам вид расчетных формул (8—12) сохраняется.

В большинстве случаев на практике деформация металла ведется в несколько последовательных приемов (операций, проходов, пропусков и т. п.). В частности, это характерно для вытяжки металла при горячей и холодной прокатке и при волочении. Пусть заготовка имеет поперечное сечение $\omega_0$, причем в первую операцию обжимается до сечения $\omega_1$ и получает вытяжку

$$\mu_1 = \frac{\omega_0}{\omega_1},$$

что дает

$$\omega_0 = \mu_1 \omega_1.$$

Во вторую операцию будем иметь

$$\mu_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \text{или} \quad \omega_1 = \mu_2 \omega_2,$$

откуда

$$\omega_0 = \mu_1 \mu_2 \omega_2.$$

Следующая операция даст

$$\mu_3 = \frac{\omega_2}{\omega_3} \quad \text{или} \quad \omega_2 = \mu_3 \omega_3$$

и, следовательно:

$$\omega_0 = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \omega_3.$$

В результате для $n$ операций будем иметь:

$$\omega_0 = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \ldots \ldots \mu_n \omega_n,$$

что позволяет определить полную вытяжку $\mu$ за все $n$ операций:

$$\mu = \frac{\omega_0}{\omega_n} = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \ldots \ldots \mu_n. \qquad (13)$$

Таким образом, полная вытяжка за несколько операций равняется произведению из частных вытяжек. Если все частные вытяжки одинаковы, то $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \ldots \mu_n = \mu_c$, что отвечает понятию средней вытяжки за $n$ операций. В этом случае имеем

$$\mu = \mu_c^n, \qquad (14)$$

откуда

$$\mu_c = \sqrt[n]{\mu}. \qquad (15)$$

Для определения числа операций $n$, исходя из заданных $\mu$ и $\mu_c$, логарифмируем уравнение (14):

$$\ln \mu = n \ln \mu_c,$$

откуда

$$n = \frac{\ln \mu}{\ln \mu_c} = \frac{\ln \frac{\omega_0}{\omega_n}}{\ln \mu_c} = \frac{\ln \omega_0 - \ln \omega_n}{\ln \mu_c}. \qquad (16)$$

Понятие средней вытяжки позволяет оценивать многооперационные процессы в отношении средней интенсивности деформации или же рассчитывать такие процессы, исходя из желаемой средней интенсивности деформации $\mu_c$.

Такие выражения для оценки деформации, как $\frac{H-h}{H}$ или $\frac{H-h}{h}$ и пр., строго говоря, пригодны только для малых деформаций: если $H - h$ мало сравнительно с $H$, то практически безразлично, к какому размеру относить абсолютное обжатие — на-



чальному или конечному. Однако при обработке металлов давлением обычно применяют большие деформации, и в этом случае различие между $\frac{H-h}{H}$ и $\frac{H-h}{h}$ получается большим. Поэтому в теории обработки металлов давлением существует понятие об истинных деформациях, представляющих собой натуральные логарифмы относительных изменений линейных размеров деформируемого тела по соответствующим направлениям. В этом случае учитывается не только начальное $H$ или конечное состояние тела $h$, но весь последовательный ход деформации. Пусть в некоторый момент осадки цилиндра высота его равна $H'$, а через бесконечно малый элемент времени высота его уменьшилась на $-dH'$. Тогда относительная деформация за этот элемент времени равна $\frac{dH'}{H'}$.

Полная относительная деформация цилиндра при изменении его высоты от $H$ до $h$ выразится следующим образом:

$$\int_H^h \frac{(-dH')}{H'} = \ln \frac{H}{h}.$$

Пользуясь логарифмическим коэффициентом деформации, легко подойти к понятию смещенного объема, часто применяемому в теории обработки давлением.

Рассмотрим осадку прямоугольного параллелепипеда между плоско параллельными плитами. Пусть в некоторый момент осадки высота параллелепипеда равна $H'$, ширина его основания равна $B'$ и длина основания равна $L'$ (рис. 20). При изменении высоты параллелепипеда на $-dH'$ одновременно ширина основания получит приращение $+dB'$ и длина $+dL'$.

Элементарные объемы, смещенные в различных направлениях, выразятся так:

$$dV_H = B'L'(-dH') = V\frac{(-dH')}{H'};$$

$$dV_B = H'L'dB' = V\frac{dB'}{B'};$$

$$dV_L = B'H'dL' = V\frac{dL'}{L'}.$$

После интегрирования в соответствующих пределах изменения линейных размеров параллелепипеда получим объемы, смещенные по различным направлениям:

$$\left.\begin{aligned} V_H &= V \ln \frac{H}{h}; \\ V_B &= V \ln \frac{B_2}{B_1}; \\ V_L &= V \ln \frac{L_2}{L_1} \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

На рис. 21 половина $V_H$ изображена в виде объема, ограниченного плоскостями $ABCD$ и $A'B'C'D'$, половина $V_L$ есть объем, ограниченный плоскостями $CDEF$ и $C'D'E'F'$, и половина $V_B$ — объем, ограниченный плоскостями $ADFI$ и $A'D'F'I'$. Физический смысл смещенного объема заключается в том, что он дает нам сумму всех составляющих взаимных перемещений частиц металла по данному направлению и поэтому он наиболее наглядно характеризует соответствующую величину пластической деформации.

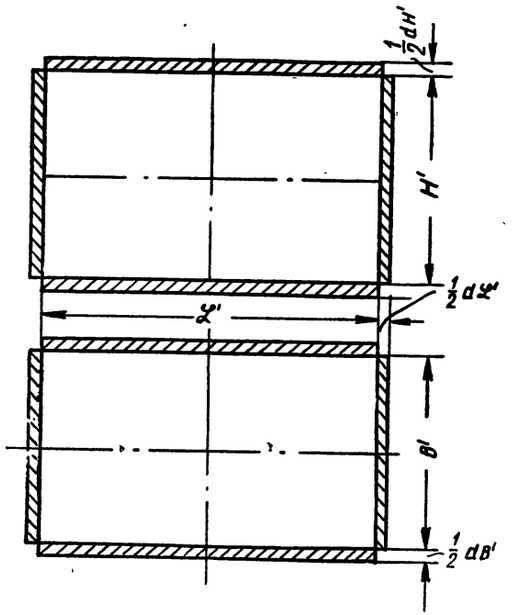



Рис. 20. Схема объемов, смещенных в различных направлениях при элементарной деформации

Так как в процессе деформации плотность и объем металла $V$ весьма близки к постоянству, то

$$dV_H = dV_B + dV_L.$$

Из уравнений (17) получаем:

$$\ln \frac{H}{h} = \ln \frac{B_2}{B_1} + \ln \frac{L_2}{L_1}, \qquad (18)$$

что соответствует уже рассмотренному нами ранее уравнению постоянства объема в такой форме:

$$\frac{H}{h} = \frac{B_2}{B} \cdot \frac{L_2}{L_1}. \qquad (19)$$



Выше во всех случаях нами рассматривались так называемые главные деформации, т. е. как бы предполагалось, что размеры любого элемента деформируемого тела увеличиваются или уменьшаются, но отсутствуют повороты или перекосы этого элемента. В механике сплошных сред доказывается, что любой элемент деформируемого тела можно ориентировать относительно таких

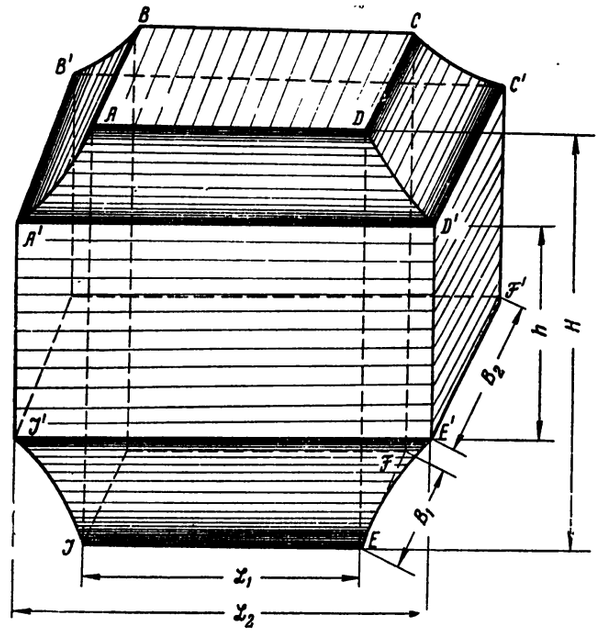



Рис. 21. Схема объемов, смещенных по высоте, ширине и длине параллелепипеда

трех взаимно перпендикулярных направлений, что при деформации будут изменяться размеры ребер элемента, но перекосы и повороты будут отсутствовать. Эти направления называются главными осями деформаций, а деформации также называются главными. Обычно считают, что главные оси деформаций совпадают с главными осями напряжений.

### 6. Возможные схемы деформации

С. И. Губкин рассматривает три возможные схемы деформации, обозначенные И. М. Павловым в порядке возрастания вытяжки через $D_{\text{I}}$, $D_{\text{II}}$ и $D_{\text{III}}$ (рис. 22, *а*). По схеме $D_{\text{I}}$ размер

тела по одному направлению уменьшается, а по двум другим направлениям размеры тела увеличиваются. Такая схема деформации осуществляется, например, при осадке цилиндра между плоско параллельными плитами или при прокатке с развитым уши-

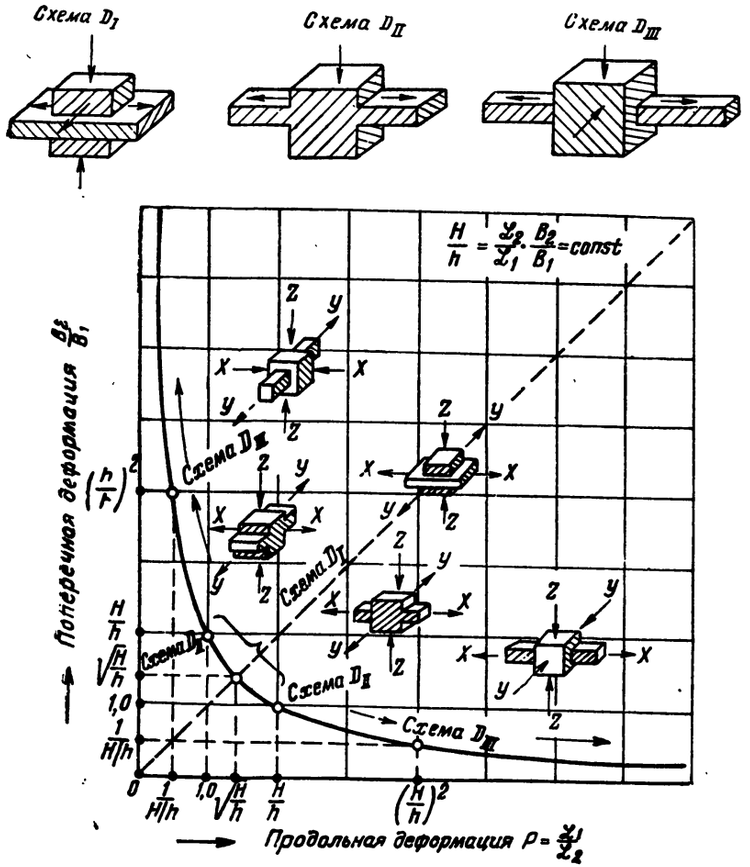



Рис. 22. Изменение формы призматического тела при его деформации по схемам $D_I$, $D_{II}$, $D_{III}$

рением. По схеме $D_{II}$ по одному направлению размер тела уменьшается, по другому увеличивается и по третьему остается постоянным. Такая схема осуществляется при осадке параллелепипеда с большим отношением $\frac{L}{B}$, а также при листовой прокат-



ке, когда уширение столь мало, что практически им можно пренебречь. Схема $D_{II}$ отвечает так называемой плоской деформации. По схеме $D_{III}$ по двум направлениям размер тела уменьшается, а по третьему направлению увеличивается. Такая схема деформации осуществляется, например, при волочении проволоки или при выдавливании прутков через очко. Связь между деформациями по различным направлениям наглядно иллюстрируется, по И. М. Павлову, графическим изображением уравнения (19). При заданной высотной деформации $\frac{H}{h}=\text{const}$ уравнение (19) соответствует зависимости $xy=c$, выражающейся равнобокой гиперболой (рис. 22). При заданной величине высотной деформации все возможные схемы деформации укладываются только на данной гиперболе, отражающей возможные различные соотношения между $x$ и $y$ или между поперечной и продольной деформациями. При другом значении $\frac{H}{h}$ получим другую гиперболу и т. д. Эти гиперболы названы И. М. Павловым гиперболами деформации. Совокупность гипербол деформации в пространстве дает гиперболический параболоид деформации.

### 7. Равномерная и неравномерная деформации

При осадке тела между плоскопараллельными плитами наблюдается неравномерная, так называемая бочкообразная, деформация (рис. 23), вызываемая действием сил трения на поверхностях контакта между телом и плитами. При отсутствии сил трения должна иметься равномерная деформация (близкий к этому случай деформации свинцового цилиндра показан на рис. 24, *а*). Теория равномерной деформации, разработанная А. Ф. Головиным, способствует изучению пластической обработки металлов.

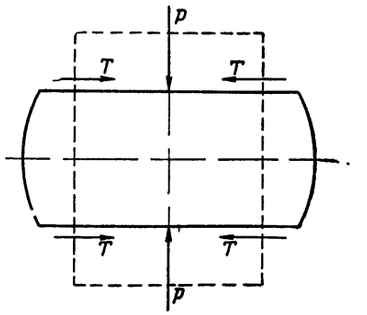



Рис. 23. Схема неравномерной осадки тела между плоскими плитами при наличии сил внешнего трения $T$

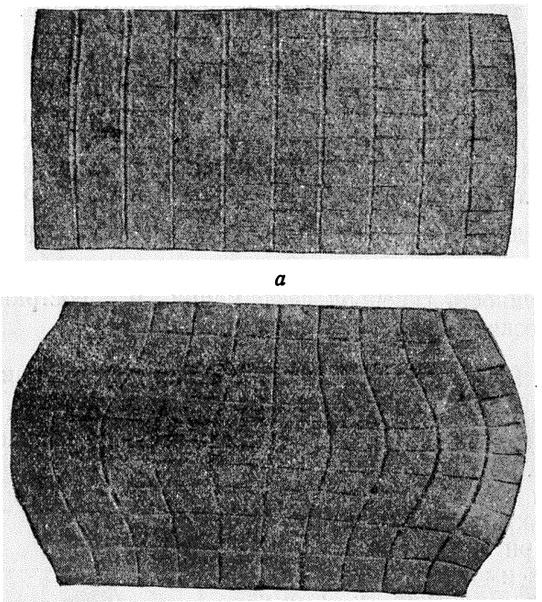
На рис. 24, *б* показана координатная сетка после деформации свинцового цилиндра между сухими грубо обработанными плитами. Вследствие тормозящего действия значительных сил контактного трения деформация была неравномерной.

Неравномерность деформации может быть вызвана и другими причинами, которые настолько обычны, что вполне равномерная

(идеальная) деформация практически не встречается. К основным причинам относятся:

1) трение по поверхностям соприкосновения;

2) особый характер приложения деформирующих сил (изгиб и пр.); остаточные напряжения в теле;



*а*

*б*

Рис. 24. Координатная сетка после деформации цилиндрического образца:
*а* — равномерная осадка; *б* — неравномерная осадка

3) форма инструмента;

4) форма тела;

5) неоднородность свойств обрабатываемого металла (состав, строение, температура и др.);

6) причины, указанные выше в том или ином сочетании.

Поскольку условия неравномерной деформации очень разнообразны, то в общем случае для рассматриваемой части неравномерно деформируемого тела можно на основании уравнения постоянства объема $\frac{H}{h} = \frac{L_2}{L_1}\frac{B_2}{B_1}$ заключить лишь следующее. Части



тела, обжимаемые больше среднего значения $\frac{H}{h}$ для всего тела (или очага деформации), должны иметь и большую деформацию в перпендикулярной плоскости; каково будет распределение этой деформации между $\frac{L_2}{L_1}$ и $\frac{B_2}{B_1}$ в общем случае, сказать нельзя. Наоборот, части тела, обжимаемые меньше среднего значения $\frac{H}{h}$ для всего тела, будут в горизонтальной плоскости деформироваться меньше. Поскольку отдельные части тела не свободны, но стойко связаны между собой, между ними благодаря неравномерности деформации возникает взаимодействие, сильно влияющее на напряженное состояние отдельных частей и на их деформацию (соответственно и на скоростные условия). В результате напряженное состояние при неравномерной деформации весьма сложно и непостоянно по объему тела. Если бы для выделенного объема были известны главные напряжения $\sigma_1$, $\sigma_2$, $\sigma_3$, то можно было бы определить и деформацию металла по всем трем осям. Однако установление напряженного состояния отдельных частей неравномерно деформируемого тела с учетом взаимодействия между ними особенно затруднительно. Поэтому и в этом случае применяются приближенные способы определения деформации тела в различных условиях.

Если неравномерность деформации вызвана неоднородностью свойств тела, то более податливые части его обжимаются сильнее $\left(\frac{H}{h}\right)$ и дают большее движение металла в стороны $\left(\frac{L_2}{L_1}\text{ и }\frac{B_2}{B_1}\right)$; части более жесткие, воспринимая меньшее обжатие, слабее деформируются и в перпендикулярной плоскости.

Так, слиток, нагретый по всей массе, но резко захоложенный сверху и снизу, обладая большей податливостью внутри и обжимаясь здесь в большей мере, приобретает бочкообразность за счет выжимания в стороны внутренних масс металла. Этот случай неоднородности свойств (вызванной неравномерным распределением температур) имеет сходство с бочкообразной деформацией тела в связи с подпирающим действием трения, когда поверхностные слои тела также оказываются относительно упрочненными.

Напротив, слиток, не прогретый полностью, имея более жесткую сердцевину, воспринимает большую деформацию в поверхностных слоях и меньшую — в центральной части. В результате бока слитка получаются впалыми.

Аналогично действуют податливые (например, свинцовые) прокладки между телом и плитами пресса. Обжимаясь и раздаваясь в стороны сильнее, чем тело, такие прокладки могут не только преодолевать трение, но вызывать даже растягивающие

напряжения в поверхностных слоях тела. Громадное значение имеет взаимодействие частей разной жесткости, если они являются структурными составляющими металла. Более податливые составляющие, деформируясь в большей мере, принудительно растягивают более жесткие составляющие и могут рвать их на мелкие части (или при достаточной их пластичности способствовать их деформации). Взаимодействие структурных составляющих разной жесткости является источником остаточных напряжений 2-го рода в теле после его деформации.

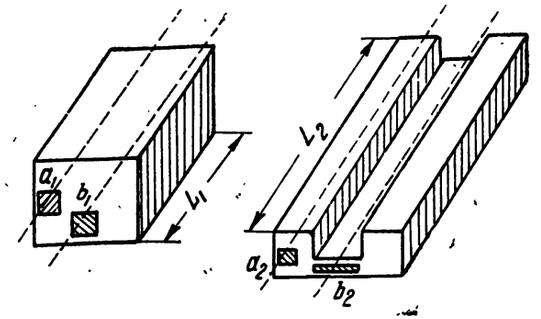



Рис. 25. Схема выравнивания вытяжек различно обжимаемых элементов поперечного сечения полосы

Значительно более определенными являются условия неравномерной деформации в последовательных процессах, протекающих при наличии внешних частей полосы, с выравниванием вытяжек всех частей полосы и получением общей вытяжки $\mu_c$, что весьма характерно, например, для процесса прокатки (рис. 25). В этом случае усилия, вызываемые принудительным выравниванием вытяжек (скоростей), могут быть настолько значительными, что в менее обжимаемых частях в растягиваемых слоях металла возникают разрывы и трещины (очертания таких трещин, их периодичность и пр. рассмотрены в теории жестких концов И. М. Павлова). В частях же более обжимаемых, в слоях, подверженных продольному сжатию, образуются волнистость, коробчатость и пр.

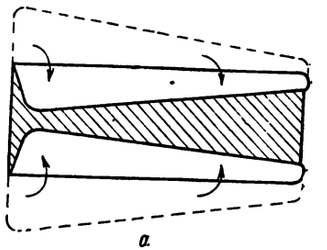
Если прокатать полоску с загнутыми краями, рис. 26 *а*, то большее обжатие этих краев и меньшее по середине, в зависимости от ширины загнутых краев, может дать периодические разрывы середины или волнистость краев (рис. 26 *б*).

Если металл остается целым и без волнистости, усилия, вызываемые неравномерностью деформации, дают остаточные напряжения в продукте обработки, причем при неравномерности зонального типа получаются остаточные напряжения 1-го рода

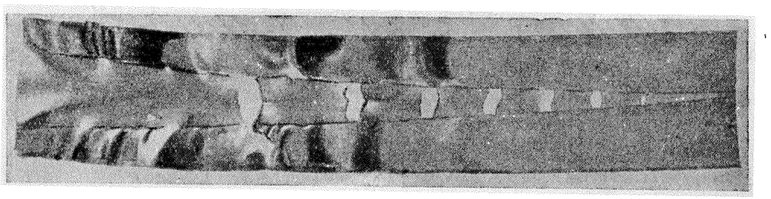


(если они не снимаются благодаря высокой температуре металла). В нормальных случаях прокатки, когда естественные длины не могут выявиться путем образования волнистости и разрывов и наступает полное выравнивание длин $L_c$ избыток металла в более обжимаемых частях полосы идет в ширину (вынужденное уширение), а недостача металла в менее обжимаемых частях может компенсироваться уменьшением ширины (вынужденная утяжка). Действительно, уравнение постоянства объем дает

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{\frac{H}{h}}{\frac{L_2}{L_1}} = \frac{\frac{H}{h}}{\mu_c}. \qquad (20)$$



*а*



*б*

Рис. 26. Образец, прокатанный в условиях неравномерной деформации, у которого волнистость краев сменилась разрывом средней части

Если $\frac{H}{h} > \mu_c$, то $\frac{B_2}{B_1} > 1$ и $B_2 - B_1 > 0$. При $\frac{H}{h} < \mu_c$ имеем $\frac{B_2}{B_1} < 1$ и $B_2 - B_1 < 0$. Наконец, в случае $\frac{H}{h} = \mu_c$ получаем $\frac{B_2}{B_1} = 1$ и $B_2 - B_1 = 0$, т. е. возможны и такие граничные зоны тела, в которых уширения нет.

Явление вынужденного уширения используется практически для искусственной раздачи металла в ширину, для чего в соответствующих частях калибра дается местное сильное обжатие (увеличение ширины подошвы рельса в ребровом калибре; увеличение высоты стенки балки при прокатке по способу П. И. Полухина).

Несмотря на то, что в известных случаях имеется свобода для уширения металла, это уширение имеет особый характер в связи с неравномерностью обжатия полосы.

Нередко раздача металла в ширину затруднена стенками калибра и тогда принудительное растяжение менее обжимаемых

частей особенно велико. Проявление неравномерности деформации в виде разрывов металла, трещин, волнистости, коробления, складок, искривлений и т. д. чрезвычайно распространено в практике и является обычной причиной брака заготовки и изделий.

## 8. Геометрические явления при пластической деформации

Процесс пластической деформации всегда сопровождается изменением размеров тела. В связи с этим происходят важные геометрические явления как на гранях, так и внутри тела. Предположим, что на одной из граней тела проведена диагональ под углом $\varphi_I$ и нанесены различные фигуры (рис. 27). Произведем

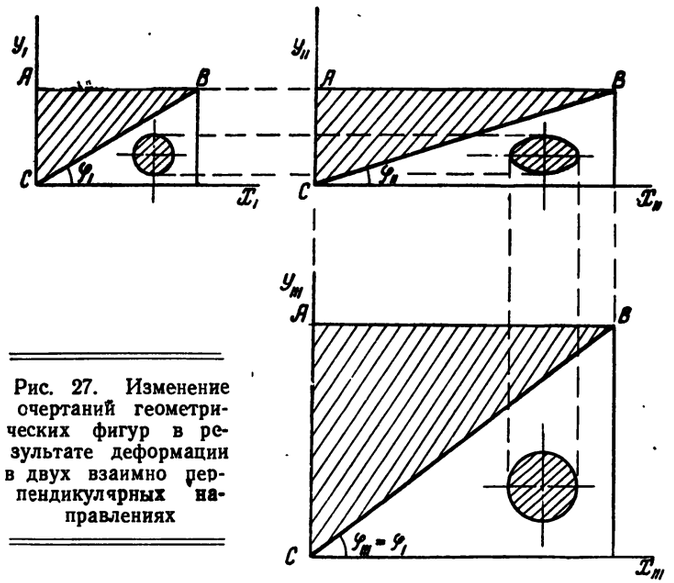



Рис. 27. Изменение очертаний геометрических фигур в результате деформации в двух взаимно перпендикулярных направлениях

равномерную вытяжку тела по оси $x$, не изменяя его размеров по оси $y$ (верхняя грань кубика на рис. 22, схема $D_{II}$). Ясно, что наклон диагонали и очертания фигур изменятся как при растяжении резиновой ленты, причем в данном случае будет иметься изменение масштаба координат по оси $x$:

$$\frac{x_{II}}{x_I} = \frac{L_2}{L_1} = \mu \text{ и } y_{II} = y_I.$$



Если до деформации уравнение прямой (диагональ) было:

$$y_I = k_1 x_I = \operatorname{tg} \varphi_I x_I, \tag{21}$$

то после вытяжки получим

$$x_{II} = x_I \frac{L_2}{L_1}$$

или

$$x_I = \frac{L_1}{L_2} x_{II},$$

что после подстановки в уравнение (21) дает

$$y_{II} = \operatorname{tg} \varphi_I \frac{L_1}{L_2} x_{II} = \operatorname{tg} \varphi_{II} x_{II}. \tag{22}$$

Таким образом, диагональ остается прямой и после действия равномерной вытяжки, но угол ее наклона к оси $x$ будет уменьшаться:

$$\operatorname{tg} \varphi_{II} = \frac{L_1}{L_2} \operatorname{tg} \varphi_I = \frac{\operatorname{tg} \varphi_I}{\mu},$$

что в пределе должно привести к параллельности данной прямой с осью вытяжки (при $\mu = \infty$ имеем: $\operatorname{tg}\varphi_{II} = 0$; $\varphi_{II} = 0$).

Начнем теперь, сохраняя длину тела, деформировать его в ширину (рис. 27, внизу). При этом будет уменьшаться наклон диагонали к оси $y$, причем сперва восстановится исходное положение, а затем начнется приближение диагонали к параллельности с осью $y$ (координаты после деформации: $x_{III}$ и $y_{III}$).

Вместо двух последовательных процессов можно совместить изменение продольных и поперечных размеров тела в одном процессе (верхняя грань кубика на рис. 22, схема $D_I$).

Очевидно, что в этом случае продольная $\frac{L_2}{L_1}$ и поперечная $\frac{B_2}{B_1}$ деформации действуют на положение прямой и вообще на искажение геометрических фигур в обратные стороны.

Отметим очень важное условие отсутствия геометрических искажений на данной грани тела (или на плоскости внутри тела): $\operatorname{tg} \varphi_{II} = \operatorname{tg} \varphi_I$ или $\frac{L_2}{L_1} = \frac{B_2}{B_1}$, что означает равенство деформаций (равномерных) тела по двум главным осям в данной плоскости. В частности, такое условие соблюдается в торцах тела при его идеальной осадке, при последовательной прокатке листа в длину и в ширину с равными вытяжками и пр. Искажения различных многоугольников легко анализировать по составляющим их прямым. Круг при равномерной деформации тела дает эллипс, соотношений осей которого определяется соотношением деформации по этим осям.

Обратное восстановление при равномерной деформации в перпендикулярном направлении происходит с большой точностью, чем пользуются в практике [увеличение диаметра и утонение кругов (дисков) при их прокатке в продольном и в поперечном направлениях].

Кроме практических приложений анализ геометрических явлений способствует пониманию самого процесса деформации металла при обработке давлением (изменение формы и ориентировки зерен; явление анизотропности; узор булатной стали; применение метода координатной сетки, скоростные условия процессов обработки и пр.).

## *Глава IV*

# НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И ИХ СВЯЗЬ С ДЕФОРМАЦИЯМИ

### 9. Напряженное состояние металла

Если на поверхности выделенного элемента тела сила распределена равномерно, то напряжение на этой поверхности представляет собой силу, отнесенную к единице площади:

$$\sigma = \frac{p}{F}.$$

В наиболее общем случае, когда сила на поверхности рассматриваемого элемента тела различно действует на разных участках поверхности, напряжение в данной точке поверхности (сечения) выразится так:

$$\sigma = \frac{dp}{dF}.$$

Для описания напряженного состояния в какой-либо точке $A$ объема тела проведем сечение $F$ через эту точку. Пусть тело находится в равновесии под воздействием системы сил $P_1$, $P_2$... Вектор полного напряжения $S$ в данной области может быть расположен как угодно в пространстве. Проекция этого вектора на нормаль $n$ к рассматриваемой площадке называется нормальным напряжением $\sigma_n$. Две остальные проекции вектора полного напряжения, расположенные в плоскости площадки, называются касательными напряжениями $\tau_x$ и $\tau_y$ (рис. 28). Через данную точку $A$ можно провести не одну площадку $F$, а бесчисленное множество их, причем ориентировка площадки в пространстве определяется, как известно, направлением нормали к этой площадке. Очевидно, что с изменением направления нормали к площадке будут также изменяться проекции вектора полного напряжения (нормальное и касательное напряжения) и каждому направлению нормали к площадке будут соответствовать определенные величины нормального и касательных напряжений. В механике сплошных сред доказывается, что *если известно напряженное состояние на трех взаимноперпендикулярных площадках, проходящих через данную точку, то можно определить напряженное состояние на любой четвертой.*



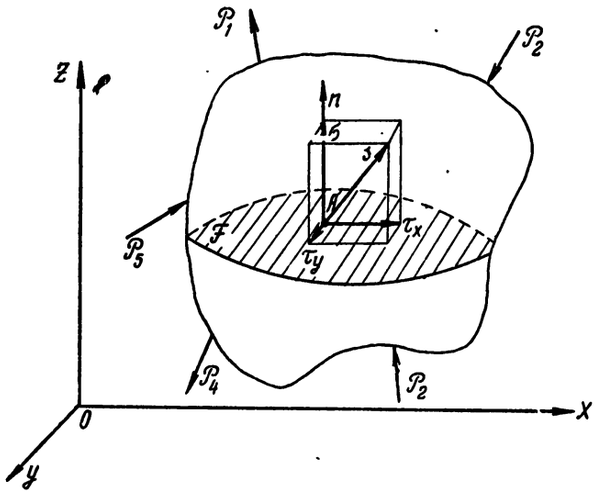



Рис. 28. Составляющие вектора полного напряжения

Из механики известно, что при равновесии рассматриваемого элемента тела, во-первых, сумма проекций всех сил, действующих на данный элемент, на оси координат равна нулю и, во-вторых, сумма моментов сил относительно любой оси координат также равна нулю (что отвечает отсутствию вращения данного элемента). Из последнего условия непосредственно вытекает

$$\left.\begin{aligned} \tau_{xy} &= \tau_{yx}; \\ \tau_{xz} &= \tau_{zx}; \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy}. \end{aligned}\right\} \qquad (23)$$

Это — закон парности касательных напряжений. Учитывая последний, можно сказать, что в наиболее общем случае напряженное состояние в данной точке тела описывается тремя нормальными и тремя касательными напряжениями.

Учитывая, однако, сложность подобного описания напряженного состояния тела, в теории обработки металлов давлением чаще всего пользуются главными напряжениями.

Выше было показано, что при заданном векторе полного напряжения $S$ (рис. 28) проекции этого вектора на оси координат зависят от ориентировки нормали к площадке. В частном случае, когда направление вектора полного напряжения $S$ совпадает с нормалью $n$ к площадке, нормальное напряжение становится наибольшим, а касательные напряжения равны нулю. В этом случае нормальное напряжение называется главным, соответствующая площадка также называется главной, а направление нормали к этой площадке называется главным направлением.

Таким образом, главные площадки характерны тем, что на них отсутствуют касательные напряжения. В механике сплошных сред доказывается, что в любой точке сплошного тела существует только одна система осей координат (три взаимно перпендикулярные направления), характерная тем, что на площадках, перпендикулярных к этим осям, отсутствуют касательные напряжения. Действующие на этих площадках нормальные напряжения называются главными, а соответствующие направления нормалей к этим площадкам называются главными осями координат. В этом случае напряженное состояние в какой-либо точке тела описывается только тремя главными напряжениями (рис. 29).

При прокатке в гладких валках обычно считают, что в любой точке очага деформации $ABCD$ главные оси направлены по толщине, ширине и длине полосы (рис. 30).

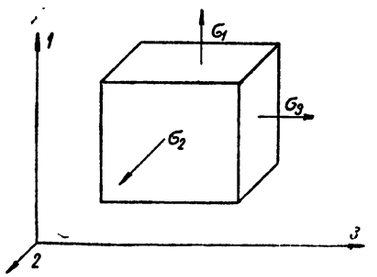



Рис. 29. Главные напряжения

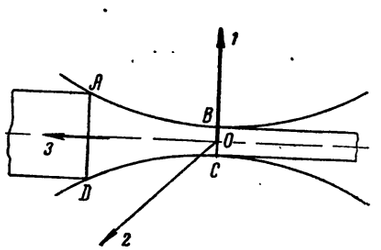



Рис. 30. Направления главных осей при прокатке

Переходя к схемам напряженного состояния металла, укажем, что различают линейное (одноосное), плоское (двухосное) и объемное (трехосное) напряженные состояния. Если силы, действующие на деформируемое тело, проектируются только на одну



из осей координат, то имеет место линейное напряженное состояние. Возможны две схемы линейного напряженного состояния (рис. 31). Линейное напряженное состояние практически имеет место при испытаниях металлических образцов на растяжение до момента начала образования шейки. Если силы, дей-

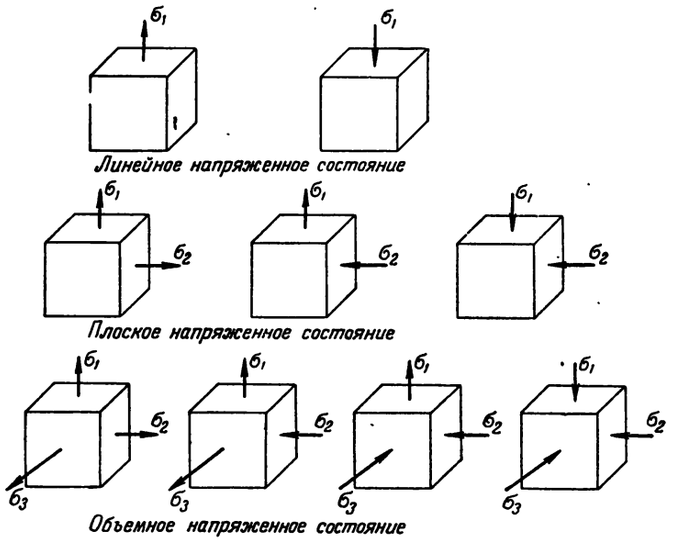



Рис. 31. Схемы напряженного состояния

ствующие на деформируемое тело, дают проекции на две оси координат, то имеет место плоское напряженное состояние (рис. 31). Наконец, если силы, действующие на деформируемое тело, могут дать проекции на все три оси координат, то имеет место объемное напряженное состояние (рис. 31).

При осуществлении различных видов обработки металлов давлением в подавляющем большинстве случаев имеет место объемное напряженное состояние. Поэтому рассмотрим его более подробно.

Схема всестороннего растяжения весьма неблагоприятна для пластической деформации металла. При такой схеме напряженного состояния проявляются не пластические, а хрупкие свойства металла, т. е. такая схема в конечном счете приводит к нарушению сплошности металла. При прошивке круглой заготовки на прошивном стане (см. рис. 2) в центральной части заготовки существует схема всестороннего растяжения, вследствие чего металл еще до встречи с носком оправки подготовляется к прошивке.

При неправильной установке оправки возможно даже нарушение сплошности металла (разрыва) еще до встречи с оправкой, что, однако, нежелательно, так как это приводит к образованию плен на внутренней поверхности гильзы. Наличие всестороннего растяжения в центральной части заготовки при прошивке на прошивном стане доказано исследованиями И. А. Фомичева [30], А. Ф. Лисочкина [31], В. С. Смирнова [29].

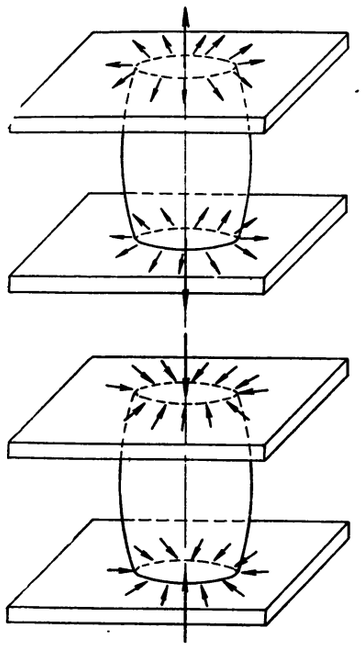


Рис. 32. Действие инструмента на тело (внизу) и тела на инструмент (вверху)

Схема напряженного состояния при двух растягивающих и двух сжимающих напряжениях возможна в некоторых частях деформируемого тела при ковке. Схема напряженного состояния при одном растягивающем и двух сжимающих напряжениях характерна для процесса волочения (по оси волочения действует напряжение растяжения, а по двум остальным осям — напряжение сжатия), а также на некоторых участках длины очага деформации при прокатке в гладких валках с передним и задним натяжением.

Наконец, схема сжатия по трем осям имеет наиболее широкое практическое применение и осуществляется в основной части деформируемого объема металла при прокатке, ковке и прессовании через очко.

Очень важно отметить, что при взаимодействии инструмента и металла характер действия сил от инструмента к металлу и от металла на инструмент различен (рис. 32). Так, при сжатии между плоскими плитами металл испытывает трехосное сжатие, между тем сам инструмент в своих поверхностных слоях воспринимает сжатие и одновременно растяжение в плоскости этих слоев, что крайне вредно для службы инструмента.

Для деформации тела важное значение имеют величины главных напряжений. Понятно, что если при трехосном сжатии все сжимающие напряжения одинаковы по величине, то пластическую деформацию осуществить невозможно. Ниже будет показано, что для осуществления пластической деформации необходима некоторая разность главных напряжений, однако пластические свойства металла проявляются в данном процессе тем лучше, чем больше сжимающие напряжения (и чем меньше их относительная неравномерность).



Здесь мы сталкиваемся с очень важным противоречием: условия, наиболее благоприятные в смысле пластичности металла, являются самыми тяжелыми в отношении самого осуществления деформации. В каждом практическом случае обработки давлением приходится принимать некоторое решение, учитывающее эти противоречивые обстоятельства.

Так, сравнивая процессы выдавливания через очко и прокатки в валках с гладкой бочкой, можно заметить, что в первом из них вследствие замкнутости рабочего пространства пластические свойства металла выражены значительно ярче, чем во втором. Многие малопластичные сплавы (например, магниевые) не выдерживают горячей и холодной прокатки в литом состоянии. Применяя к литым слиткам процесс прессования через очко, можно в дальнейшем производить и прокатку их.

Усугубленное действие трехосного сжатия наблюдается и в процессе ковки слитков, в связи с чем литые слитки малопластичных металлов во многих случаях подвергают ковке и только затем — горячей прокатке и т. п.

Чтобы уменьшить склонность к образованию трещин при ковке малопластичного металла, применяют рабочий инструмент не плоской, а вогнутой формы, что повышает влияние боковых сил; применению вогнутых фасонных или угловых бойков, подкладок и пр. при ковке слитков из высоколегированной стали придается большое значение.

Еще больший эффект повышения пластичности может быть получен в замкнутом пространстве закрытых штампов, при ковке в жестком чехле, в муфте и пр.; с возрастанием необходимых для деформации усилий в этом случае приходится мириться.

Переходя к прокатке, отметим, что образование трещин по краям полосы вполне возможно при прокатке в валках с гладкой бочкой (свободное уширение). Прокатка в ручьевых валках с повышенным обжатием по краям полосы снижает эту возможность; как говорят, боковые стенки ручья поддерживают металл. Напротив, при пониженном обжатии кромок (например, если в пачке выступают края некоторых листов) их разрыв весьма облегчен.

Такие процессы, как прокатка, волочение, лишь условно характеризуются некоторыми основными, общими условиями напряженного состояния металла в каждом из этих процессов, вообще же говоря условия напряженного состояния никогда не бывают вполне однородными и могут весьма сильно отличаться в различных частях зоны деформации. Очень различные условия суще-

ствуют, например, в разных частях профиля при прокатке в ручьевых валках.

Хорошим примером резко различных условий напряженного состояния в разных частях деформируемого тела может являться листовая штамповка, занимающая среди процессов ковки и штамповки особое и притом очень заметное место.

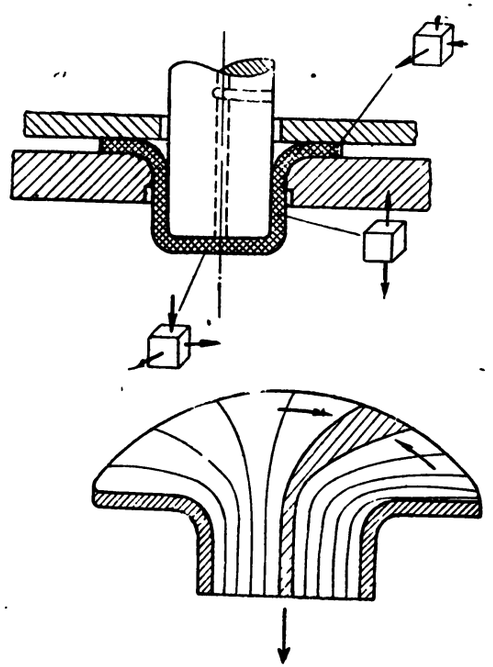


Рис. 33. Штамповка колпачка из кружка (без протяжки в матрице)

Рассмотрим процесс штамповки колпачка из круглой листовой заготовки — кружка, вырубленного из листа или ленты, без утонения стенки детали (рис. 33). Пуансон, действуя на дно колпачка, вызывает растяжение в стенке колпачка, находящейся (с известным приближением) в линейном напряженном состоянии (растяжение). С другой стороны, и сама стенка тянет дно колпачка наружу по всем радиальным направлениям, благодаря чему, воспринимая в то же время давление пуансона, эта часть находится в условиях напряженного состояния сжатия по вертикальной оси и растяжения по обеим горизонтальным осям.



В местах перехода от дна к стенке и от этой части к кружку металл подвергается мало благоприятному для сохранения целости металла сложному пластическому изгибу.

В самом кружке при движении к центру каждая элементарная часть вклинивается между такими же соседними частями, подвергаясь сжатию в кольцевом направлении. Сжатие может оказаться настолько значительным, что наступит образование складок, идущих в радиальных направлениях. На отштампованном колпачке складки дают грубые продольные риски, из-за которых изделие бракуется.

Чтобы избежать образования складок, применяется прижим (прижимное кольцо), оказывающий на кружок известное давление. Это давление должно быть достаточным для исключения складкообразования, но не должно тормозить кружок настолько, чтобы начались разрывы колпачка в местах изгибов.

В результате в рассматриваемой зоне имеется сжатие по двум осям и растяжение по третьей оси.

Если штамповка ведется с протяжкой металла через сужающийся кольцевой зазор между матрицей и пуансоном (меньший, чем толщина листа), то процесс сопровождается утонением стенки колпачка, причем получает сходство с обычным волочением труб на оправке или на стержне. В таком случае заготовкой является чаще уже не кружок, а отштампованный из кружка колпачок, стакан или гильза и пр.

## 10. Уравнение пластичности

При упругой деформации в теле накопляется потенциальная энергия, изменяется плотность и объем деформируемого вещества, с одной стороны, и форма деформируемого тела, с другой. Поэтому потенциальная энергия упругой деформации состоит из энергии изменения объема и энергии изменения формы:

$$a = a_V + a_\Phi$$

или

$$a_\Phi = a - a_V, \tag{24}$$

где $a$ — общая потенциальная энергия в единице объема вещества;

$a_V$ — удельная потенциальная энергия изменения объема;

$a_\Phi$ — удельная потенциальная энергия изменения формы.

Исходя из энергетических условий деформации, можно делать важные выводы, основанные на экспериментально подтверждаемом положении о том, что для достижения пластической деформации необходимо накопить в теле некоторое количество удельной потенциальной энергии изменения формы, которое не зависит от схемы напряженного состояния (или, по С. И. Губкину [3], от ме-

ханической схемы деформации). Математический анализ данного положения приводит к основному уравнению:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_т^2. \quad (25)$$

Общая удельная потенциальная энергия есть

$$a = \frac{1}{2}(\varepsilon_1\sigma_1 + \varepsilon_2\sigma_2 + \varepsilon_3\sigma_3), \quad (26)$$

где $\varepsilon_1$, $\varepsilon_2$, $\varepsilon_3$ — главные относительные удлинения.

Связь между удлинениями и напряжениями определяется обобщенным законом Гука:

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E}[\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)];\\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E}[\sigma_2 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1)];\\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E}[\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)], \end{aligned}\right\} \quad (27)$$

где $E$ — модуль упругости;

$\nu$ — коэффициент Пуассона.

После подстановки значений $E$ из уравнений (27) в уравнение (26) получим:

$$a = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] \quad (28)$$

Удельная потенциальная энергия изменения объема:

$$a_V = \frac{1}{2}\cdot\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}\cdot\frac{\Delta V}{V}, \quad (29)$$

где $\frac{\Delta V}{V}$ — относительное изменение объема.

Пусть до деформации размеры ребер элементарного параллелепипеда равны $dx$, $dy$ и $dz$, а после деформации — $dx_1$, $dy_1$ и $dz_1$. Тогда относительное изменение объема выразится следующим образом:

$$\frac{dV}{V} = \frac{dx_1\,dy_1dz_1 - dx\,dy\,dz}{dx\,dy\,dz}$$

или

$$\frac{dV}{V} = \frac{dx_1}{dx}\cdot\frac{dy_1}{dy}\cdot\frac{dz_1}{dz} - 1.$$

Принимая во внимание, что

$$\frac{dx_1 - dx}{dx} = \varepsilon_1$$

или

$$\frac{dx_1}{dx} = 1 + \varepsilon_1$$



и, соответственно,

$$\frac{dy_1}{dy} = \varepsilon_2 + 1; \quad \frac{dz_1}{dz} = \varepsilon_3 + 1,$$

после подстановок получим

$$\frac{dV}{V} = (1 + \varepsilon_1)(1 + \varepsilon_2)(1 + \varepsilon_3) - 1.$$

При малых деформациях $\varepsilon_1$, $\varepsilon_2$ и $\varepsilon_3$ очень малы сравнительно с единицей, поэтому в правой части последнего уравнения можно пренебречь двойным и тройным произведением $\varepsilon$. Тогда получим:

$$\frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3.$$

После подстановки в последнее уравнение соответствующих значений $\varepsilon$ из уравнений (27) получим:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1 - 2\nu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3).$$

Наконец, подставим последнее выражение в уравнение (29):

$$a_V = \frac{1 - 2\nu}{6E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2. \quad (30)$$

Удельная потенциальная энергия изменения формы определится из уравнения (24) путем подстановки в него значения $a$ из уравнения (28) и $a_V$ из уравнения (30). После такой подстановки и простых преобразований получим:

$$a_ф = \frac{1 + \nu}{6E}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]. \quad (31)$$

Теперь используем положение о независимости упругой потенциальной энергии изменения формы $a_ф$ от схемы напряженного состояния. Найдем $a_ф$ для линейного напряженного состояния, характеризующегося тем, что $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$. После подстановки последнего в уравнение (31) получим:

$$a_{фл} = \frac{1 + \nu}{6E}\cdot 2\sigma_1^2.$$

Но при линейном напряженном состоянии $\sigma_1 = \sigma_т$. Поэтому имеем:

$$a_{фл} = \frac{1 + \nu}{6E}2\sigma_т^2. \quad (32)$$

Но потенциальные энергии по уравнению (31) и (32) должны быть одинаковыми; приравнивая их, находим (25):

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_т^2.$$

Получаемое, исходя из энергетической теории, уравнение пластичности (25) устанавливает соотношение между пределом текучести деформируемого материала и главными напряжениями, необходимое для достижения пластической деформации. Однако применение этого уравнения затруднительно вследствие его слож-

ности. Поэтому его упрощают рассмотрением некоторых частных случаев с последующим обобщением. Полагаем, что $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

При $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ из уравнения (32) получим:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 1{,}155\,\sigma_1;$$

при $\sigma_2 = \sigma_3$ или при $\sigma_2 = \sigma_1$ (т. е. когда среднее главное напряжение равно любому из крайних), получим:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_т.$$

На основании последних двух уравнений, обобщая, можно написать:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = m\,\sigma_т, \qquad (33)$$

где $1{,}155 \geqslant m \geqslant 1$.

При использовании этого уравнения необходимо учитывать знаки напряжений. Если знаки $\sigma_1$ и $\sigma_3$ различны, то получится

$$\sigma_1 + \sigma_3 = m\sigma_3. \qquad (34)$$

Уравнение пластичности может быть выведено несколькими способами, в частности, исходя из того положения, что пластическая деформация металлов обусловлена действием касательных напряжений, вызывающих смещение металла по некоторым кристаллическим плоскостям скольжения.

Рассмотрим растяжение металлического тела под влиянием главного напряжения $\sigma$ (линейное напряженное состояние) (рис. 34, слева).

Обозначим наименьшее касательное напряжение, способное преодолеть сопротивление кристаллическому сдвигу, через $k_t$.

Наибольшее касательное напряжение действует по плоскостям, расположенным под 45°, причем оно составляет:

$$\tau_{макс} = \frac{\sigma}{2}. \qquad (35)$$

Ясно, что кристаллический сдвиг раньше всего может возникнуть в плоскостях, наклоненных под 45°, когда напряжение $\tau_{макс}$ достигает значения $k_t$, т. е. при $\tau = k_t$. Необходимое для этого главное напряжение $\sigma$ определится так:

$$\sigma = 2\tau_{макс} = 2k_t = k\sigma_т$$

(или $\sigma_0$, как его часто обозначают).

Величина $k$ характеризует сопротивление деформации металла в линейном напряженном состоянии, отвечающая пределу текучести $\sigma_т$.

Переходя к растяжению тела по трем осям, рассмотрим условия скольжения по диагональной плоскости под действием наибольшего главного напряжения $\sigma_1$ и наименьшего $\sigma_3$ (рис. 34, I, средина).



Из схемы видно, что касательные напряжения $\tau_1$ и $\tau_3$ направлены в разные стороны, благодаря чему кристаллический сдвиг может осуществляться лишь их разностью, при условии:

$$\tau_1 - \tau_3 = k_t.$$

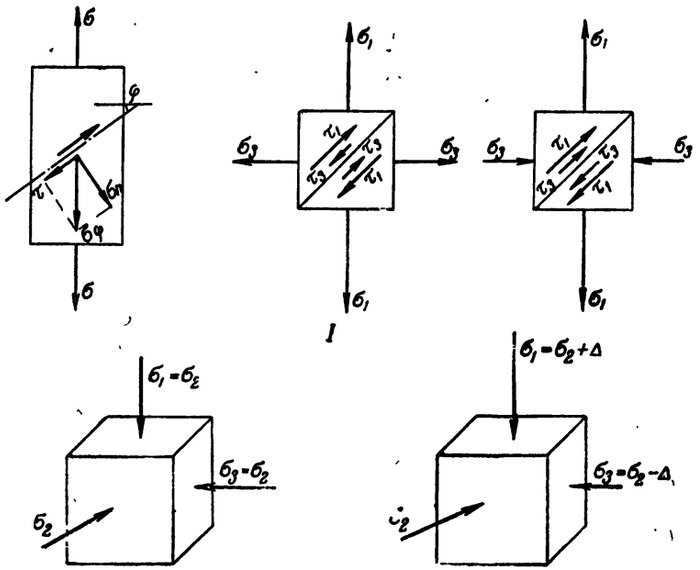



Рис. 34. Схемы действия касательных напряжений и схемы к уравнению пластичности

Умножая обе стороны на 2, получаем:

$$2\tau_1 - 2\tau_3 = 2k_t$$

или, переходя к главным напряжениям:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_т, \quad \text{т. е.} \quad \sigma_1 = \sigma_т + \sigma_3.$$

Для случая одноосного или трехоосного сжатия все выводы сохраняются полностью, поскольку знак изменяется у всех рассматриваемых напряжений: $-\sigma_1 = -\sigma_т - \sigma_3$ или $\sigma_1 = \sigma_т + \sigma_3$. Если знак главных напряжений различен (разноименные схемы), то касательные напряжения действуют в одну сторону (рис. 34, *I*, справа).

Сопротивление кристаллическому сдвигу $k_t$ преодолевается в этом случае уже согласным действием напряжений:

$$\tau_1 + \tau_3 = k_t,$$

что дает

$$2\tau_1 + 2\tau_3 = 2k_t$$

или

$$\sigma_1 + \sigma_3 = \sigma_т, \quad \text{т. е.} \quad \sigma_1 = \sigma_т - \sigma_3.$$

Выведенные нами согласно теории разности главных напряжений формулы вполне соответствуют предыдущим формулам, полученным, исходя из энергетической теории.

Интересно, что если рассматривать результирующее касательное напряжение, действующее по площадкам, одинаково наклоненным к трем главным осям (октаэдрическое касательное напряжение), то легко можно вывести и полное уравнение пластичности:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_т^2.$$

Достоинством теории разности главных напряжений является ее близость к физической природе, к самому механизму пластической деформации (действие касательных напряжений).

Рассмотрим теперь частное условие:

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}.$$

При равенстве всех трех главных напряжений: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ пластической деформации быть не может, так как условия по всем трем осям одинаковы (рис. 34, *II*, слева). Сохраняя теперь среднее напряжение без изменений, увеличим вертикальное напряжение (до значения $\sigma_1$) и уменьшим продольное напряжение (до значения $\sigma_3$) на одинаковую величину (рис. 34, *II*, справа):

$$\sigma_1 = \sigma_2 + \Delta \quad \text{и} \quad \sigma_3 = \sigma_2 - \Delta.$$

Суммарное действие этих двух напряжений, проявляющееся по поперечной оси, очевидно, не изменится, и движения металла по этой оси попрежнему не будет:

$$\sigma_1 + \sigma_3 = (\sigma_2 + \Delta) + (\sigma_2 - \Delta) = \sigma_2 + \sigma_2 = 2\sigma_2.$$

Отсюда получаем:

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}. \qquad (36)$$

Этот же результат легко получается и из уравнения (27) для $\varepsilon_2$ при $\varepsilon_2 = 0$ и коэффициенте Пуассона $\nu = 0{,}5$ (постоянства объема тела).

Таким образом, обобщая, заключаем, что *деформация по какой-либо из главных осей отсутствует, если главное напряжение по ней составляет полусумму двух остальных главных напряжений.* В этом случае будет иметься плоская деформация тела. Для



суждения о направлении движения металла по трем осям достаточно сопоставить условия деформации по каждой из осей с условиями плоской деформации. При этом возможны три случая (рассматривается ось, по которой действует напряжение $\sigma_2$):

1) $\sigma_2 > \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ — деформация идет по направлению действия главного напряжения;

2) $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ — деформация отсутствует;

3) $\sigma_2 < \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ — деформация идет против направления действия главного напряжения.

Левая часть приведенных выражений $\sigma_2$ выражает прямое действие данного напряжения, а правая часть $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ — косвенное встречное действие по рассматриваемой оси двух других напряжений.

Остановимся теперь на практических способах определения деформации тела по главным осям.

## 11. Закон наименьшего сопротивления

При упругой деформации связь между напряжениями и деформациями определяется законом Гука. При больших пластических деформациях эта связь сложна. Поэтому ряд авторов (А. Ф. Головин, С. И. Губкин и др.) рекомендует для приближенных расчетов деформации тела пользоваться законом наименьшего сопротивления. С. И. Губкин дал следующую формулировку этого закона:

«В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления» [3].

Выведенное выше уравнение пластичности определяет только условия, при которых осуществляется пластическая деформация, но не указывает направлений перемещений частиц металла.

Закон наименьшего сопротивления дает возможность во многих случаях определять направление перемещений частиц металла.

При осадке прямоугольного параллелепипеда с квадратным основанием ($B = L$) средние значения главных напряжений $\sigma_2$ и $\sigma_3$ одинаковы и поэтому продольная и поперечная деформация также одинаковы. Если же $B < L$ (прямоугольное основание), то главное напряжение, действующее по направлению короткой стороны, меньше, чем по направлению длинной стороны, т. е. $\sigma_3 < \sigma_2$

(рис. 35), и поэтому поперечная деформация больше продольной, или $\frac{B_2}{B_1} > \frac{L_2}{L_1}$. Следовательно, деформация больше в том направлении, в котором действует меньшее напряжение.

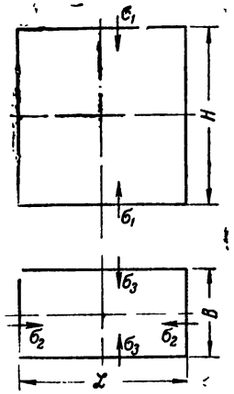



Рис. 35. Главные напряжения при осадке параллелепипеда между плоскими плитами

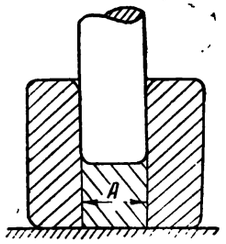



Рис. 36. Схема открытой (свободной) прошивки

## 12. Влияние внешних частей тела на процесс деформации. Остаточные напряжения

Пластическая деформация протекает в особых условиях, если тело имеет внешние части, не подвергающиеся в данный момент процессу пластической деформации.

При неравномерной деформации одни части тела деформируются в большей мере, другие — в меньшей. Хотя внешние части тела находятся вне инструмента, но между ними и деформируемым металлом существует взаимодействие, влекущее за собой изменения в напряженном состоянии и в ходе деформации металла (соответственно и в скоростных условиях процесса), влияющее и на сами внешние части тела. При этом обязательным условием взаимодействия будет сохранение целости металла, благодаря чему только и может существовать связь между внешними частями и массой тела, находящейся под непосредственным действием инструмента.

При открытой прошивке (рис. 36) центральная часть металла, находящаяся под непосредственным воздействием инструмента, взаимодействует с периферийной частью поковки, которая противодействует вытеканию металла из центральной части (А). В свою очередь, вследствие прошивки периферийная часть поковки испытывает давление на внутренней поверхности раздела двух частей поковки. Периферийная часть поковки в данном случае играет роль «внешней части» тела.

Внешние части тела не обязательно должны быть замкнутыми. Так, при установившихся процессах прокатки и волочения внешние части имеются в виде двух концов — входящего и выходящего. В процессе прессования через очко имеется только один внешний конец — выходящий. Значение внешних частей деформируемого тела было впервые рассмотрено И. М. Павловым в его «Теории жестких концов» [2] как раз применительно к этим процессам. Основной принцип этой теории заключается в установлении связи, взаимодействия между внешними частями и металлом, находящимся под действием инструмента. Следствиями этого основного положения являются соответствующие изменения напряженного состояния, деформации и скоростей движения металла, а также изменения, относящиеся к самим внешним частям тела.



Наиболее явственно значение внешних частей выступает при резко выраженной неравномерности деформации, например при прокатке в ручьевых валках.

В качестве модели (см. рис. 25) допустим, что заготовка с квадратным сечением получает очень сильное обжатие в средней части (например, $\frac{H}{h} = 2{,}4$) и умеренное по краям (например, $\frac{H}{h} = 1{,}2$).

Нечто подобное с плавным возрастанием обжатия к середине имеется в разрезном калибре при прокатке балок.

Если бы края и середину заготовки обжимали вполне самостоятельно, то средняя часть получила бы значительно большую вытяжку, чем крайние, и при одинаковой начальной длине всех трех полос средняя полоса получилась бы значительно большей длины, чем крайние. Так как все три полосы связаны между собой и имеются внешние части тела, то фактически вытяжка их будет одинаковой (за исключением начальной и конечной стадии процесса, по концам средней части образуются выступы, вследствие отсутствия в этом случае выравнивающего действия внешних частей; однако эти явления уже не относятся к установившемуся процессу прокатки).

Выравнивание вытяжек или длин с доведением их до среднего значения имеет принудительный характер и требует значительных усилий. В начальной стадии процесса более обжимаемые массы металла еще могут прорываться вперед и обгонять отстающие, менее обжимаемые части полосы. Но после образования выходящего внешнего конца полосы сверх известной минимальной длины всякие взаимные смещения слоев металла в этом конце тормозятся уже настолько, что наступает выравнивание вытяжек и, соответственно, скоростей движения металла. Таким образом, в установившемся процессе сами концы полосы, как выходящий, так и входящий, имеют свои выравненные постоянные по сечению скорости: $v_h$ и $v_н$. Однако плоскости, в которых горизонтальные скорости одинаковы, не обязательно совпадают с геометрическими границами зоны (очага) деформации при прокатке и могут находиться на некотором от них расстоянии.

Поскольку эти скорости определяют собой пути, проходимые обоими концами полосы в секунду, то за время $t$ получим длины полосы до и после обработки:

$$L_1 = v_H t \quad \text{и} \quad L_2 = v_h t,$$

откуда

$$\mu = \frac{L_2}{L_1} = \frac{v_h}{v_н}, \qquad (37)$$

т. е. выравнивание вытяжек и выравнивание скоростей представляет собой одно и то же явление. Препятствуя взаимному смещению слоев металла, внешние части полосы ведут себя как жесткие упоры (жесткие концы).

Выходящий конец задерживает, тормозит части полосы, стремящиеся иметь повышенные скорости, и, напротив, принудительно тянет за собой те части, которые сами по себе имели бы меньшие скорости.

Входящий конец, наоборот, толкает вперед отстающие слои за счет натяжения слоев, стремящихся идти с большей скоростью.

Постоянство скоростей несомненно имеется в самих внешних частях полосы вне зоны пластической деформации металла. Если учесть, однако, наличие жестких упоров по границам пластической зоны, то с некоторым приближением можно допустить, что и внутри этих границ отклонения от средней продольной скорости в каждом данном сечении не очень значительны и в порядке упрощения ими можно пренебречь. Подобная абстракция, принимаемая в теории жестких концов И. М. Павлова, весьма упрощает анализ скоростных условий процесса.

Конечно, известная связь между частями полосы действует и внутри деформационной зоны, причем благодаря этой связи также происходит некоторое выравнивание вытяжек и скоростей. Однако при отсутствии внешних концов была бы возможна более значительная разница в движении различных слоев металла.

Так, в начальной стадии выдавливания через очко металл истекает как вязкая жидкость: чем дальше от стенок очка (задерживающих внешние слои благодаря трению) и ближе к центру, тем выше скорость потока. По этой причине выходящий пруток в самом своем начальном переднем конце несет выпуклость (рис. 37, вверху).

Однако, когда конец выйдет из очка на длину, превышающую минимальную, он движется дальше уже как твердое тело с зафиксированным положением слоев и зерен и с постоянной кривизной своего выпуклого конца (имеются лишь остаточные упругие напряжения и деформации). Скорости в этом конце постоянны, и сам он вблизи выхода действует как жесткий упор (рис. 37, внизу).

Вступление в действие выходящего конца при прокатке и окончание действия входящего конца, определяющие собой начало и окончание установившегося процесса, легко регистрируются разными способами (изменения в уширении полосы, в полном давлении металла на валки, искажение — смятие плоского среза на входящем конце полосы, когда его длина становится меньше минимальной и пр.). Все эти способы связаны с влиянием концов на напряженное состояние деформируемого металла, на самую деформацию и на скоростные условия.

Возвращаясь к вопросу об остаточных напряжениях, отметим, что они возникают в продукте обработки в основном благодаря



неравномерности деформации, но особенно при наличии жестких концов, а также в связи с влиянием температурных условий обработки (термические напряжения). Пусть в результате процесса выдавливания или волочения пруток получил растягивающие

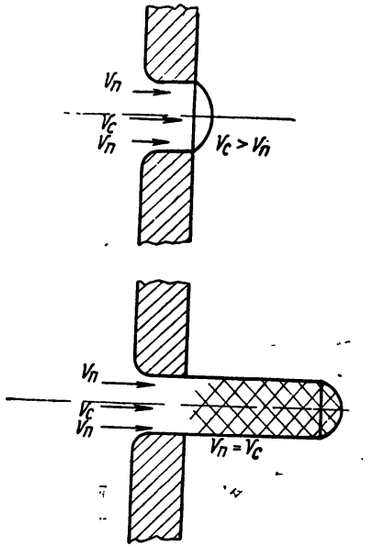



Рис. 37. Образование внешней части прутка при выдавливании через очко: $v_п$ — скорость движения металла вблизи поверхности прутка; $v_c$ — скорость движения металла ближе к центральным слоям металла

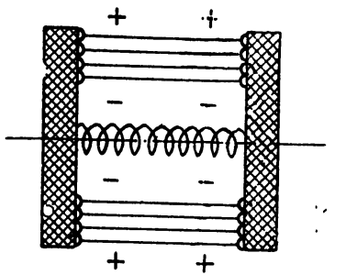


Рис. 38. Модель равновесия продольных зональных остаточных напряжений

продольные напряжения в поверхностных слоях и сжимающие — внутри. Модель натянутых струн и сжатой пружины хорошо иллюстрирует состояние такого прутка (рис. 38): струны и пружина находятся в равновесии друг с другом..

Подобная взаимная уравновешенность в пределах данного объема тела, находящегося вне действия внешних сил, является основным свойством остаточных напряжений (это не значит, что остаточные напряжения не могут участвовать в более сложном равновесии, когда на данное тело воздействуют еще и внешние силы). Другим существенным свойством остаточных напряжений является их объемный характер (кроме продольных, всегда имеются напряжения и в перпендикулярной плоскости).

При нарушении равновесия остаточных напряжений происходит соответствующее изменение размеров (иногда и формы) тела. Так, если срезать несколько струн на модели рис. 38, то пружина разожмется и длина тела возрастает. Если срезать струны с одного края, то произойдет искривление в обратную сторону и т. д. Вот почему при механической обработке изделий так часто наблюдаются поводка, коробление, выпадение из размеров и другие вредные явления. Изменениями размеров тела при удалении некоторых его слоев пользуются для определения величины и распределения остаточных на-

пряжений (рис. 39). Вредность остаточных напряжений заключается также в том, что, суммируясь с внешней нагрузкой, они как бы понижают прочность тела. Кроме того, если поверхностные слои тела несут растягивающие напряжения, то ухудшается стойкость поверхности тела против коррозии.

Кроме снятия остаточных напряжений посредством термической обработки можно удалять особенно вредные растягивающие напряжения в поверхностных слоях тела, деформируя эти слои (осаживая и расплющивая их) поколачиванием, встряхиванием (мелкие детали) во вращающихся барабанах, обдувкой дробью и пр.

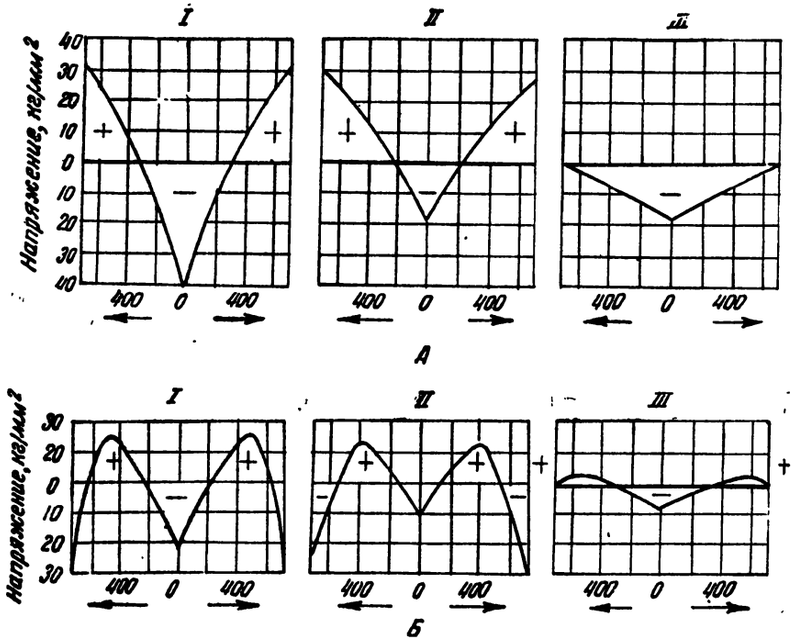



Рис. 39. Диаграммы остаточных напряжений в круглых латунных прутках:
*А* — пруток протянут; *Б* — пруток после протяжки подвергнут холодной обкатке; *I* — продольные; *II* — кольцевые; *III* — радиальные напряжения

В заключение отметим явление концентрации напряжений (как действующих при обработке давлением, так и остаточных) во всякого рода надрезах, трещинах, порах и т. д.

Местные перенапряжения, вызванные подобными дефектами, могут в несколько раз превосходить среднее напряжение в данной зоне тела. Грязная, неровная поверхность металла (ноздреватость, неслитины, рванины, инородные включения и пр.), так же как и загрязненные внутренние массы металла (включения шлака, частиц огнеупоров и пр.), газовые пузыри, рыхлость и т. д., — все это вредно не только само по себе, но и в связи с громадным местным повышением напряжений, легко приводящим к разрушению металла (рис. 40).



С данной точки зрения ясна полезность устранения как внутренних, так и внешних дефектов слитков, заготовки и готовых изделий, в частности: обрезки рваной кромки, обдирки и зачистки нездоровой поверхности металла, полировки поверхности и т. п.

## 13. Определение усилий при обработке металлов давлением. Сопротивление деформации металла. Форма инструмента

Выше было отмечено, что при решении задач в главных напряжениях необходимо знать $\sigma_1$, $\sigma_2$ и $\sigma_3$ как некоторые функции координат. Таким образом для определения этих трех неизвестных величин необходимо иметь три уравнения.

Первым из них обычно является уравнение равновесия. Уравнение пластичности обычно используется в качестве второго уравнения системы. Наконец, в качестве третьего уравнения используется связь между средним главным напряжением $\sigma_2$ и каким-либо крайним ($\sigma_1$ или $\sigma_3$). Ниже это будет пояснено при решении некоторых задач. Остановимся теперь более подробно на понятии сопротивления деформации металла.

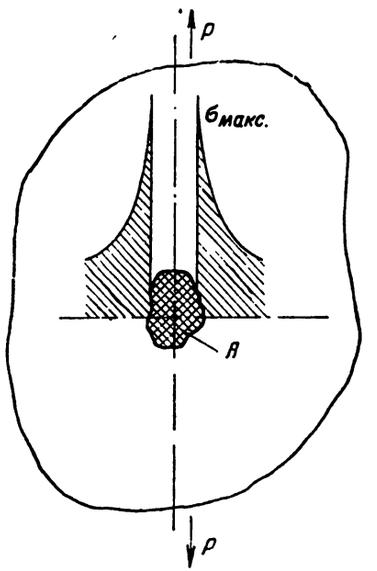



Рис. 40. Концентрация напряжений, вызванная инородным включением *А* в металле

Мы уже останавливались на процессе прошивки, причем отмечали противодействие со стороны внешних масс прошиваемого тела.

Рассмотрим еще следующую модель.

Если сжимать свинцовый цилиндрик между гладкими хорошо смазанными плитами пресса, то он будет деформироваться сравнительно легко. Однако, заключив такой цилиндрик в стальную муфту (рис. 41, вверху), можно будет добиться его осаживания лишь с громадным трудом. Сопротивление цилиндрика сжатию в этом случае определится не столько свойствами самого свинцового сердечника, сколько жесткостью муфты, препятствующей раздаче свинцового сердечника в стороны.

Перейдем теперь к влиянию трения по поверхностям соприкосновения тела и инструмента.

Произведем осаживание цилиндрических образцов разной начальной толщины между плоскими плитами при различных коэффициентах трения (рис. 41, внизу).

Не имея возможности снизить коэффициент трения до крайнего значения ($f = 0$), найдем соответствующую величину сопротивления деформации экстраполяцией. При $f = 0$ влияние трения

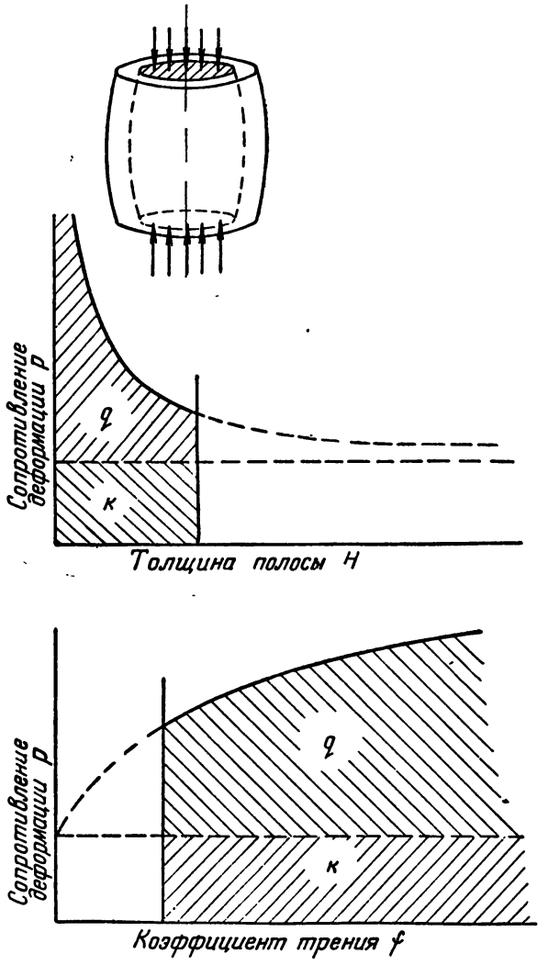



Рис. 41. Сжатие тела, заключенного в жесткую муфту (вверху); зависимость сопротивления деформации от толщины полосы $H$ (в середине) и от коэффициента трения $f$ (внизу)

полностью исключено: таким образом, искомая величина соответствует линейному напряженному состоянию и обозначена нами через $k = \sigma_0 = \sigma_т$. Физический смысл этой величины явствует из



того, что при отсутствии трения сопротивление деформации определяется только свойствами самого металла и представляет собой как бы «природную жесткость» металла. Можно предположить, что жесткость, присущая самому металлу, сохраняется без изменений и во всех других условиях напряженного состояния.

Проведя горизонталь на уровне $k$ (рис. 41, внизу), мы отделим низ диаграммы от верха (до кривой), причем последний будет представлять собой долю влияния трения.

Обозначая эту добавочную составляющую через $q$, получаем:

$$p = k + q. \tag{38}$$

Совершенно ясна связь полученного уравнения с выведенным выше упрощенным видом уравнения пластичности. Действительно, учитывая законы действия и противодействия, имеем: $p = \sigma_1$; величина $k$ может быть сопоставлена с $\sigma_т$, а $q$ — с минимальным главным напряжением $\sigma_3$. Таким образом, получаем: $\sigma_1 = \sigma_т + \sigma_3$ или $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_т$.

Разделив обе части уравнения (38) на $k$, будем иметь:

$$n = \frac{p}{k} = 1 + \frac{q}{k}. \tag{39}$$

Коэффициент $n$ дает отношение сопротивления деформации данного процесса к сопротивлению деформации при линейном напряженном состоянии.

Опытные определения коэффициента $n$ показывают, что величина его для прокатки и ковки может превышать 2.

Если $n = 2$, то

$$\frac{p}{k} = 2 = 1 + \frac{q}{k},$$

откуда

$$\frac{q}{k} = 2 - 1 = 1 \quad \text{или} \quad q = k.$$

В этом случае сопротивление $p$, которое приходится преодолевать при обработке металла давлением, на 50% обусловлено препятствием со стороны подпирающих сил трения и на 50% «природной жесткостью» металла.

Из найденного соотношения следует, что при анализе сопротивления деформации при больших значениях коэффициента $n$ в первую очередь надо учитывать подпирающие силы трения, и только во вторую — изменения, происходящие в самом металле.

Рассмотренная зависимость указывает на то, что при обработке давлением, желательно максимальное уменьшение трения по поверхностям контакта.

Зависимость сопротивления деформации от начальной толщины осаживаемого тела также связана с влиянием трения, поскольку с уменьшением толщины $H$ тела растет относительное значение поверхностей контакта (при $H = 0$ как бы весь объем металла переходит в поверхность). Наоборот, с увеличением тол-

щины тела влияние поверхностей контакта, а следовательно, и трения падает. Теоретически при $H = \infty$ значение поверхностей контакта и трения должно утрачиваться полностью, причем величина $p$ переходит в $k$ (линейное напряженное состояние). Начальный ход опытных кривых (рис. 41) отвечает такому теоретическому пределу, но дальнейшее их продолжение (экстраполяция) возможно только условно (пунктир на рис. 41), так как при большой толщине осаживаемого тела деформация протекает в особых условиях.

Резкое возрастание сопротивления деформации тел очень малой толщины характерно для многих случаев практики: для холодной прокатки тонкой ленты, горячей прокатки тонких листов и т. д. Известен ряд способов понижения влияния данного обстоятельства. Так, составляют пачку (пакет) из нескольких отдельных листов. При прокатке такой пачки сопротивление деформации $p$ определяется толщиной всей пачки, толщина же продукта обработки после разделения пачки соответствует одному листу.

Другой способ борьбы с трением при обработке тонкого продукта — это применение технологической смазки, что особенно характерно для холодных видов обработки. При надлежащем подборе смазки можно снизить сопротивление деформации обрабатываемого металла очень резко.

Влияние трения по поверхностям контакта было нами рассмотрено для случая осаживания тела между плоскими плитами. Однако кроме плоской формы инструмент может быть выпуклым и вогнутым (не говоря о сложной форме).

Рассмотрим действие на осаживаемое тело вогнутого ($\varphi < 0$), плоского ($\varphi = 0$) и выпуклого ($\varphi > 0$) инструмента с прямыми стенками (рис. 42).

Находя горизонтальные составляющие силы давления $R$ и силы трения $T$, замечаем следующее:

1) горизонтальные составляющие $R_x$ и $T_x$ при $\varphi > 0$ направлены в разные стороны, причем $R_x$ направлена в сторону движения деформируемого металла, а $T_x$ — против него;

2) при $\varphi = 0$ сила $R$ становится вертикальной и составляющая $R_x$ обращается в нуль; $T_x$ сохраняет прежнее направление — против движения деформируемого металла;

3) при $\varphi < 0$ силы $R_x$ и $T_x$ оказываются направленными в одну сторону — против движения деформируемого металла.

Таким образом, при выпуклой форме рабочего инструмента горизонтальные составляющие силы $R$ и силы трения $T$ противодействуют друг другу, причем влияние подпирающего действия трения ослабляется. При вогнутой форме действия их становятся согласованными и направляются против движения деформируемого металла:

Из схемы рис. 42 следует, что:

$$R_x = R \sin \varphi; \tag{40}$$

$$T_x = T \cos \varphi = R f \cos \varphi. \tag{41}$$



Полное погашение действия горизонтальных сил трения достигается при условии:

$$T_x = R_x,$$

т. е.

$$R f \cos \varphi = R \sin \varphi$$

или

$$f = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi,$$

что с переходом к углу трения $\beta$ дает $\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \varphi$

$$\beta = \varphi. \tag{42}$$

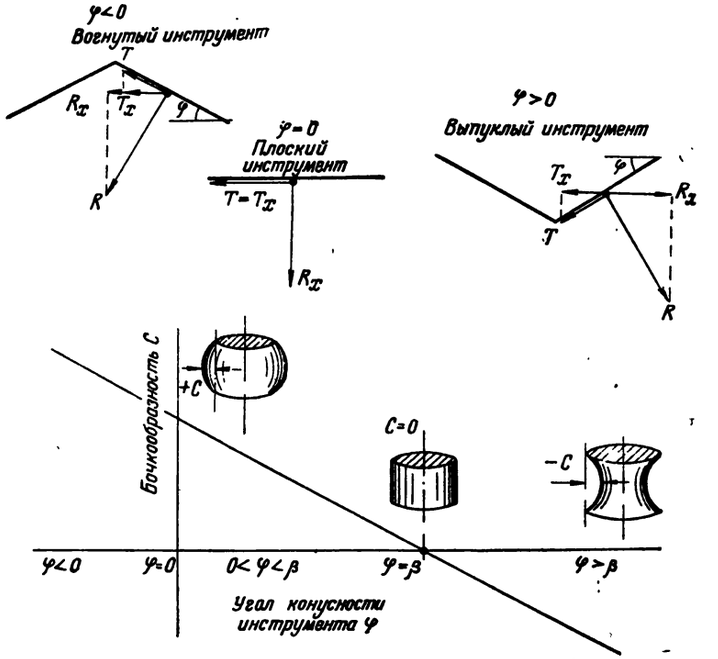



Рис. 42. Влияние формы инструмента на схему действия сил и на деформацию тела

Поскольку форма инструмента влияет на условия напряженного состояния тела, она действует также на сопротивление деформации и весьма заметно на саму деформацию тела. Для случаев деформации в условиях $\varphi < \beta$ (т. е. когда $T > R_x$) характерна бочкообразность формы тела. Если $\varphi = \beta$, то тело сохраняет свои геометрические очертания без заметных искажений.

Наконец, если $\varphi > \beta$, то благодаря расклиниванию тело получает впалую по бокам форму. Эти формы тела показаны на

рис. 42 (между степенью бочкообразности и углом φ имеется обратная зависимость, характеризующаяся плавной кривой).

Следует отметить, что применение выпуклого или вогнутого инструмента влечет за собой неравномерность деформации тела, искажающую напряженное состояние тела.

### 14. Метод замены проекций сил проекциями поверхностей

Рассмотрим, каким образом можно, исходя из среднего давления, определять суммарные силы в разных проекциях. Пусть на прокатный валок действуют со стороны полосы нормальные напряжения $p$, отвечающие среднему давлению (рис. 43). Проекция его на вертикальную ось:

$$p_z = p\cos\varphi.$$

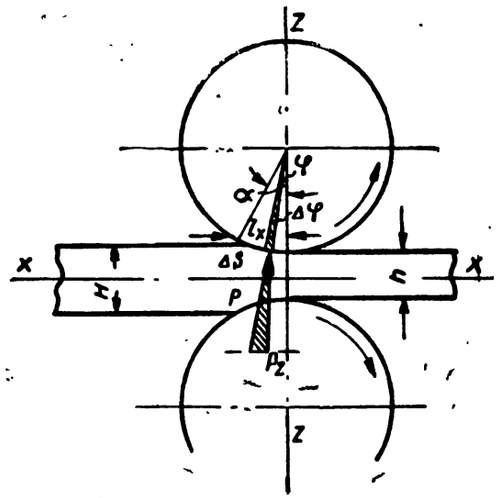



Рис. 43. Схема к определению давления металла на валки по оси $Z-Z$

Элементарное давление на площадку длиною $as = Rd\varphi$, расположенной под углом φ, выразится так:

$$dP_z = pBR\cos\varphi d\varphi.$$

После интегрирования в пределах изменения φ от 0 до α получим:

$$P_z = BRp\sin\alpha. \qquad (43)$$

Произведение $R\sin\alpha$ представляет собой горизонтальную проекцию дуги захвата (и хорды):

$$l_x = R\sin\alpha. \qquad (44)$$



Следовательно, $BR\sin\alpha = Bl_x$.

есть проекция всей поверхности соприкосновения на горизонтальную плоскость. Таким образом, для вычисления $P$ следует брать перпендикулярную к направлению силы плоскостную проекцию области деформации $Bl$ и нагружать полученную поверхность удельным давлением $p$.

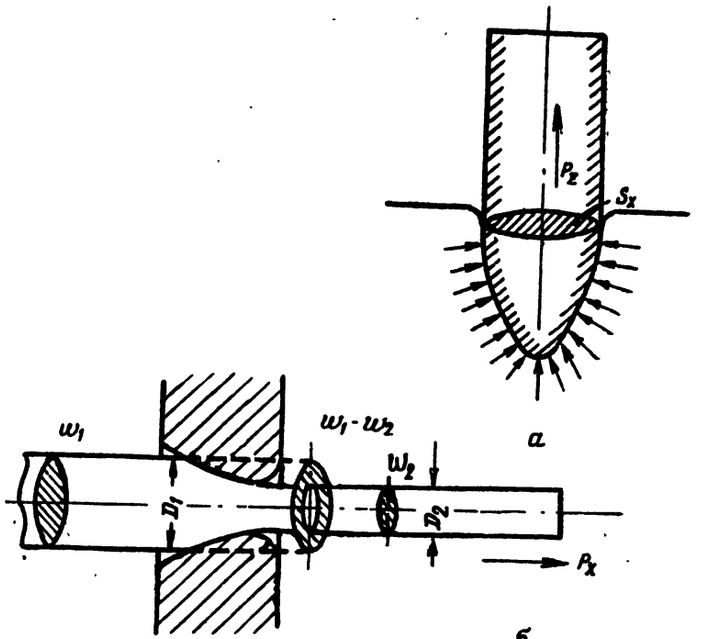



Рис. 44. Схема к определению вертикальной силы $P_z$ при вдавливании пуансона и горизонтальной силы $P_x$ при волочении продукта круглого сечения

Этот полезный метод, нашедший свое применение в разных областях техники, в отношении обработки металлов давлением был применен и доказан И. М. Павловым [2] в общем виде.

Пусть требуется определить вертикальную суммарную силу $P_z$ для случая, когда поверхность контакта имеет сложную форму (рис. 44, *а*).

Проектируя поверхность контакта на горизонтальную плоскость, получаем площадь $S_x$, причем искомое вертикальное давление

$$P_z = pS_x. \qquad (45)$$

Докажем данный принцип в общем виде.

На поверхности контакта (при ширине $B = 1$) выделим элементарный участок $s$, на единицу площади которого действует нормальное напряжение $p$. Спроектировав напряжение $p$ и площадку $s$ на координатные оси, можно на основании подобия треугольников написать (рис. 45).

$$\frac{p}{s} = \frac{p_z}{s_x} = \frac{p_x}{s_z},$$

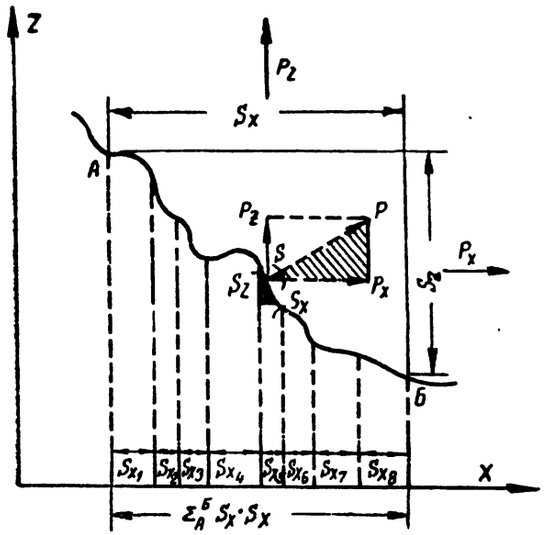



Рис. 45. Схема к методу замены проектирования нормальных сил проектированием поверхностей контакта

откуда $ps_z = p_x s$ и $ps_x = p_z s$.

Обычный путь определения, например, полного вертикального давления $P_z$, как мы видели при выводе вертикального давления прокатки, сводится к нахождению проекций $p_z$ нормальных напряжений, определению вертикального давления на элементарную площадку $s$ и к суммированию давлений по всей поверхности:

$$P_z = \sum_A^Б p_z s.$$

Громадная трудность такого пути при сложных очертаниях



поверхности контакта очевидна. Однако выражение $p_z s$ можно заменить выражением $ps_x$, имея, таким образом:

$$P_z = \sum_A^Б p_z s = \sum_A^Б ps_x = p \sum_A^Б s_x = pS_x.$$

В результате вместо перехода от нормального напряжения $p$ к его проекции $p_z$ мы, сохраняя полное значение $p$, переходим от элемента поверхности контакта $s$ к его проекции $s_x$. Все практическое преимущество рассматриваемого метода заключается в простоте суммирования элементарных проекций поверхности контакта (рис. 45):

$$\sum_A^Б s_x = S_x.$$

Точно таким же образом для горизонтальной суммарной силы $P_x$ имеем:

$$P_x = \sum_A^Б p_x s = \sum_A^Б ps_z = p \sum_A^Б s_z = pS_z. \qquad (46)$$

Пусть требуется определить горизонтальную силу $P_x$ при волочении (см. рис. 44, б). Прилагая общий принцип, имеем:

$$P_x = pS_z = p(\omega_1 - \omega_2). \qquad (47)$$

Если давление распределяется по цилиндрической поверхности, например по поверхности прокатного валка, то для определения полного давления необходимо брать не всю эту дуговую поверхность, а ее проекцию $lB$ где $l$ — длина хорды (вместо дуги $S$). Имея в виду, что для процесса прокатки длина хорды

$$l = \sqrt{(H - h)R}, \qquad (48)$$

получаем следующую формулу полного давления прокатки:

$$P = pB\sqrt{(H - h)R}. \qquad (49)$$

Метод замены проектирования сил проектированием поверхностей контакта можно распространить и на силы трения.

Поскольку $T = fP$, то $T_x = fP_z$ и $T_z = fP_x$.

Подставляя сюда найденные выражения для $P_x$ и $P_z$, получаем

$$T_x = fpS_x; \qquad (50)$$

$$T_z = fpS_z. \qquad (51)$$

Таким образом, для определения суммарных сил трения следует проектировать поверхность контакта не на перпендикулярную, а на параллельную плоскость.

## 15. Работа деформации при обработке металлов давлением

Рассмотрим процесс осаживания тела между двумя плоскими плитами (рис. 46). Полная сила, противодействующая деформации при некотором промежуточном состоянии тела, будет:

$$P = P_z = \omega_x p.$$

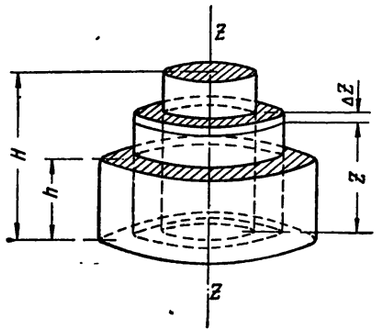



Рис. 46. Схема к выводу формул работы деформации

Если допустить, что сопротивление деформации $p$ металла остается постоянным, то по мере осаживания сила $P$ будет меняться только в зависимости от увеличения площади основания тела. Объем тела, неизменный во все время деформации:

$$V = \omega_x z,$$

откуда

$$P_z = \omega_x p = \frac{V}{z} p. \qquad (52)$$

Из этого выражения видно, что по мере осаживания (уменьшение высоты $z$) полная сила $P_z$ растет по гиперболе.

Произведем дополнительное осаживание тела на величину $\Delta z$. Приращение затраченной на деформацию работы $A$, отвечающей бесконечно малому осаживанию $\Delta z$, обозначим через $\Delta A$. Очевидно:

$$\Delta A = -P_z \Delta z = -p\frac{V}{z}\Delta z$$

(знак минус стоит потому, что работа протекает в направлении убывания $z$).

Заменяя бесконечно малые соответствующими дифференциалами, получаем:

$$dA = -pV \cdot \frac{dz}{z}.$$

Полная работа $A$ выражается определенным интегралом уравнения, взятым в пределах от первоначальной высоты $z = H$ до конечной высоты $z = h$:

$$A = -\int_H^h pV\frac{dz}{z} = \int_h^H pV\frac{dz}{z} =$$

$$-pV\left[\ln z\right]_h^H = pV(\ln H - \ln h) = pV\ln\frac{H}{h}. \qquad (53)$$



Полученная формула логарифмического вида впервые была предложена еще в 1874 г. Финком.

Выведем, теперь, пользуясь той же схемой, формулы работы других видов.

Предположим, что во время осаживания тела сохраняются без изменений не только объем его $V$ и сопротивление деформации $p$, но и полное давление $P_z$. Поскольку, однако, $P_z = \omega_x P$ то за все время деформации площадь поперечного сечения тела $\omega_x$ считается (совершенно условно) как бы постоянной.

Допустим, что площадь отвечает начальному состоянию тела:

$$\omega_x = \frac{V}{H}.$$

Тогда полное давление

$$P_z = p\omega_x = p\frac{V}{H}.$$

Работа постоянной силы $P$ будет происходить на пути $H - h$, отвечающем абсолютному обжатию тела (разность уровней).

Имеем:

$$A_H = P_z(H - h) = pV\frac{H-h}{H} \qquad (54)$$

Положим теперь, что площадь $\omega_x$ соответствует конечному состоянию тела:

$$\omega_x = \frac{V}{h}.$$

Тогда:

$$P_z = p\omega_x = p\frac{V}{h}.$$

и работа на том же пути $H - h$:

$$A_h = P_z(H - h) = pV\frac{H-h}{h}. \qquad (55)$$

Общий вывод позволяет заключить, что правильной из трех выведенных формул является логарифмическая формула Финка, учитывающая изменение состояния тела во время деформации.

В литературе известно много формул работы деформации, работы прокатки и пр. Впервые А. П. Виноградовым было выяснено, что все они приводятся к трем видам:

$$A_h = pV\frac{H-h}{h};\quad A_H = pV\frac{H-h}{H} \text{ и } A = pV\ln\frac{H}{h}.$$

Позже И. М. Павлов дал обобщенный вывод этих трех формул, только что рассмотренный нами. Этот вывод показал ошибочность формул вида:

$$A_h = pV\frac{H-h}{h} \quad \text{и} \quad A_H = pV\frac{H-h}{H}.$$

Остановимся на зависимости суммарной работы от дробности деформации, т. е. от числа отдельных приемов, применяемых для осуществления некоторой общей деформации тела.

Из логарифмической формулы следует, что суммарная работа не должна зависеть от их числа; она зависит лишь от конечных размеров деформируемого тела (при постоянстве сопротивления деформации $p$).

Однако это правильно лишь при отсутствии упругих свойств у деформируемого тела. Если же упругие свойства имеются, то каждое последующее обжатие требует повторного доведения тела до пластического состояния (выше предела упругости) с повторной затратой работы на дополнительную деформацию.

Таким образом, суммарная работа деформации тела, обладающего упругостью, тем выше, чем больше дробность деформации. Данное обстоятельство особенно существенно при холодной обработке жесткого металла.

## 16. Трение при обработке металлов давлением

Как видно из предыдущего, при обработке давлением трение имеет очень большое значение, так как с трением тесно связаны многие важнейшие вопросы.

Трение при обработке давлением отличается от обычного трения в механизмах (машинное трение) большим удельным давлением (порядка 10—50 *кг/мм²* при горячей обработке и 50—250 *кг/мм²* при холодной обработке), высокой температурой деформируемого металла при горячей обработке и наличием окислов (окалины) на его поверхности, постоянным обновлением трущихся поверхностей не только благодаря износу (как при машинном трении), но и в силу того, что по мере утонения и вытяжки металла отношение поверхности к объему растет, причем внутренние

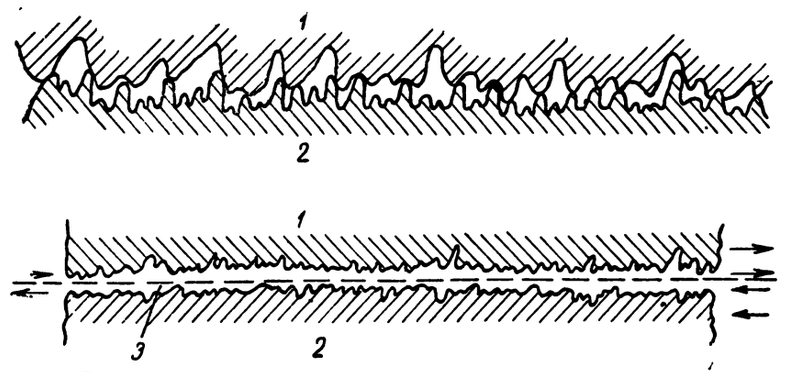



Рис. 47. Схемы сухого (вверху) и жидкого (внизу) трения:
*1* и *2* — трущиеся поверхности; *3* — слой смазки

массы металла приближаются к поверхности и выходят на нее. Характер трения при обработке металлов давлением может быть различен, от сухого (рис. 47, вверху) до жидкостного (рис. 47, внизу), когда вместо непосредственного взаимного смещения двух шероховатых поверхностей имеется скольжение слоев смазки друг по другу с преодолением внутреннего трения. Однако даже при самой активной смазке трущихся поверхностей при холодной обработке давлением слой смазки настолько тонок, что трение сильно зависит от физико-химических явлений между смазкой и металлом (в связи с этим такая смазка именуется граничной). Активная маслянистая смазка имеет молекулы с полярными группами (OH, COOH, COONa, COOK и др.), которые и обеспечивают ее сцепление с металлом. Замечательно, что даже малая добавка поверхностно-активных веществ (жирные кислоты, соли этих кислот, являющиеся мылами, и пр.) сообщают смазке необходимую связь с металлом, что используется, в частности, при применении смазочных эмульсий.



Рассмотрим влияние на трение при обработке металлов давлением некоторых основных факторов.

Состояние поверхности инструмента и металла. Состояние поверхности инструмента влияет на условия трения чрезвычайно сильно, — изменяя это состояние, можно получить крайние значения коэффициента трения порядка от $f = 0{,}7$ до $f = 0{,}05$. Наибольший коэффициент трения дает искусственно загрубленная поверхность инструмента (насечка и наварка обжимных прокатных валков для улучшения захвата), наименьший отвечает полированному инструменту со смазкой (холодная обработка давлением). При обработке инструмента движение резца, шлифовального круга и пр. ориентировано относительно осей инструмента, благодаря чему наблюдается разница в коэффициенте трения вдоль и поперек обработки. Кроме того, имеется некоторая разница вдоль по резцу и против резца. Эти явления именуются анизотропностью трения [4].

Износ инструмента, в частности образование сетки трещин при частых и резких изменениях температуры поверхности, также имеет направленность, что, в свою очередь, дает известную анизотропность трения. Условия трения зависят от налипания обрабатываемого металла на рабочий инструмент. Это вредное явление вызывает увеличение коэффициента трения, причем в ряде случаев препятствует ведению процесса обработки (листовая штамповка, волочение, холодная прокатка, проводки сортовых прокатных станов, инструмент трубопрокатных станов). Состояние поверхности обрабатываемого металла также влияет на условия трения. Сюда относятся в первую очередь состояние и физико-механические свойства слоя окислов на поверхности заготовки (окалины), а также действие технологической смазки.

Температура обрабатываемого металла. Многие исследования дают типичную кривую с максимумом около 500—800° (рис. 48), причем по применяемым температурам для горячей обработки стали характерна правая ниспадающая часть кривой, а для некоторых других металлов и сплавов — левая восстающая часть.

Удельное давление на поверхности контакта. Имеющиеся опытные данные [2] по холодной прокатке для сухих и для смазанных поверхностей дают значительное падение коэффициента трения (с уменьшающейся интенсивностью) по мере возрастания удельного давления, причем эта зависимость наблюдается для различных металлов и сплавов (при прокатке в закаленных чугунных валках).

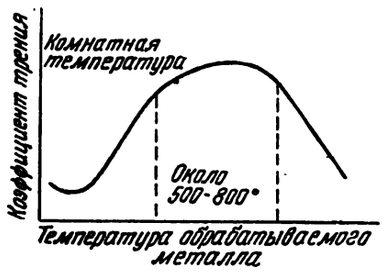



Рис. 48. Зависимость коэффициента трения от температуры обрабатываемого металла

Состав металла. Химический состав обеих трущихся поверхностей влияет на условия трения очень значительно и притом сложным образом. От состава металла, обрабатываемого в горячем состоянии, зависят свойства окислов, процесс вторичного окисления, удельное давление (влияние на трение) и пр. При холодной обработке состав металла влияет на поверхностные явления взаимодействия между металлом и смазкой, а при сухом трении на явления непосредственного контакта между металлом и инструментом. Даже очень тонкая пленка окислов при холодной обработке также сильно влияет на трение, а состояние этой пленки зависит от состава. Принято считать, что коэффициент трения ниже, если обе трущиеся поверхности относятся к различным металлам, однако от этого правила имеются отступления.

Скорость смещения инструмента и тела. Данные по машинному трению противоречивы в связи с влиянием многих побочных факторов. Предварительная выдержка двух тел в состоянии контакта под давлением увеличивает коэффициент трения при их последующем скольжении. Захват металла валками при прокатке с уменьшением окружной скорости валков улучшается, чем широко пользуются в станах с регулируемым числом оборотов.

В связи с влиянием на условия трения при обработке металлов давлением большого числа факторов (нами рассмотрены только основные факторы) численные значения коэффициента трения сильно колеблются. Ниже приведены средние значения коэффициента трения при различных условиях обработки:

| | Коэффициент трения, $f$ | Угол трения $\beta$, град. |
|---|---|---|
| Горячая обработка давлением: | | |
| загрубленная поверхность инструмента | до 0,7 | 35 |
| естественная поверхность инструмента | 0,2—0,5 | 11—25 |
| Холодная обработка давлением: | | |
| поверхность инструмента грубая | 0,09—0,1 и выше | 5—6 и выше |
| поверхность инструмента полированная, со смазкой | 0,05—0,07 и ниже | 3—4 и ниже |



## *Глава V*

# СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

## 17. Общее сопоставление различных процессов обработки металлов давлением

Сопоставляя различные процессы, можно заметить бóльшую близость между процессами волочения, прессования через очко и продольной прокатки, чем, например, между продольной прокаткой и ковкой. Если ковкой производится вытяжка полосы, то после каждой операции инструмент приводится в исходное положение, после чего выполняется следующая операция. Между операциями полоса смещается на одну подачу, чтобы действию инструмента подвергся новый ее участок. Подобные периодические, прерывные процессы не являются совершенными, в отношении действия инструмента невыгодна смена рабочих и холостых ходов, в отношении самого процесса отрицательной является возможная неравномерность обработки по длине продукта.

Указанные недостатки отсутствуют в процессах регулярных, последовательных. К ним относятся волочение, продольная прокатка, а также с известными оговорками, прессование через очко и некоторые случаи штамповки. Эти процессы характеризуются тем, что обрабатываемый металл последовательно проходит через область деформации и каждый участок тела воспринимает процесс одинаково с предшествующими участками.

Если отбросить такие случаи, как разнотолщинность по длине заготовки благодаря падению температуры металла при горячей прокатке, то все части полосы в последовательных процессах обрабатываются в одинаковых условиях, что и обусловливает постоянство строения и свойств продукта обработки по длине полосы (рис. 49).

С точки зрения работы механизма эти процессы также наиболее выгодны, поскольку их можно вести непрерывно (причины, вызывающие перерывы-паузы в работе, чисто технические и по мере улучшения производства могут все более устраняться).

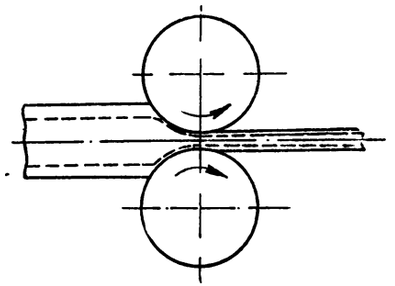


Рис. 49. Схема последовательного процесса

Сопоставим теперь последовательные процессы: волочение, прессование через очко и прокатку. Допустим, что для проведения этих процессов имеется однотипный механизм: круглые ролики или валки.

Располагая клещевым устройством (рис. 50, *I*) можно захватить конец полосы и осуществить процесс волочения, причем вся уже обработанная

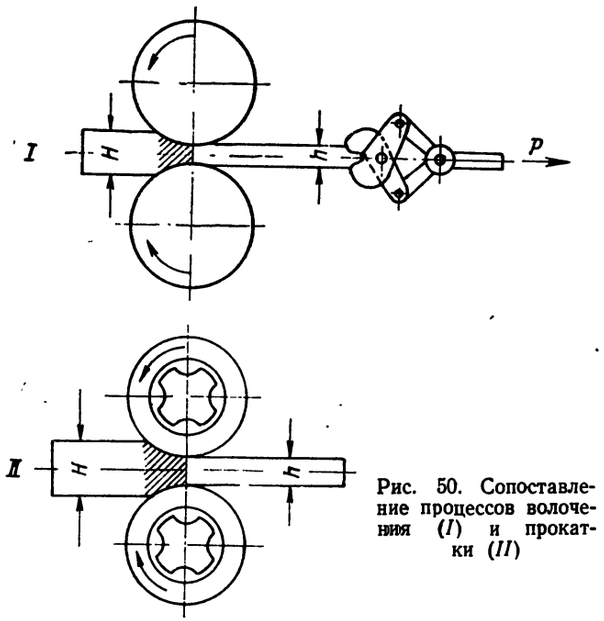



Рис. 50. Сопоставление процессов волочения (*I*) и прокатки (*II*)

часть полосы будет находиться под напряжением и следовательно, возможности деформации обрабатываемого продукта будут ограничены стойкостью этой части полосы.



С другой стороны, растяжение выходящего конца металла создаст благоприятные для деформации условия напряженного состояния в зоне деформации: будет иметься согласное действие тянущей силы и обжимающих сил.

Прекратим теперь действие тянущей силы и приложим настолько значительную вталкивающую силу к входящему концу полосы, чтобы металл стал выходить из инструмента (рис. 85). При этом в связи с интенсивным сжатием всей массы металла он должен поддерживаться стенками инструмента (замкнутое пространство приемника пресса между поршнем и очком).

Для процесса прессования характерно большое трение и громадное общее сопротивление: металл находится в условиях интенсивного сжатия по всем трем осям, что затрудняет деформацию. Однако сама величина деформации в данном процессе не ограничена: можно сжимать металл в цилиндре в той мере, какая требуется для осуществления любой степени деформации (вытяжки).

Осуществим теперь процесс обработки за счет принудительного вращения роликов от внешнего привода (рис. 50, *II*), что будет отвечать процессу прокатки.

Процесс сможет происходить, очевидно, только если полоса пойдет вслед за валками, что будет зависеть от наличия трения. Отсюда следует, что возможности прокатки в смысле осуществления деформации полосы ограничены условиями трения.

Из анализа равновесия сил при прокатке вытекает, что продольные силы трения не только во входной, но и в выходной частях зева валков направлены внутрь. Так же направлены силы трения и по поперечной оси. Таким образом, с точки зрения условий напряженного состояния процесс прокатки был бы наиболее выгоден при наименьшем коэффициенте трения, что обусловило бы уменьшение сопротивления деформации металла и пр. Данное обстоятельство указывает также на выгодность внешнего натяжения полосы.

Прокатные станы, в которых осуществляется тяга за выходящий конец, имеют большое распространение при холодной ленточной прокатке, причем наблюдается тенденция увеличения мощности намоточных барабанов по сравнению с мощностью самой прокаткой клети, что указывает на рост элементов процесса волочения в данном комбинированном процессе. Громадное значение имеет натяжение полосы (ленты) и со стороны входа. Так называемое «заднее» натяжение резко снижает сопротивление деформации металла.

Отметим в заключение, что с переходом от одного процесса обработки к другому и сопутствующим ему изменением напряженного состояния деформируемого тела меняется также способность тела деформироваться без разрушения. Так, усугубленные условия трехосного сжатия при прессовании через очко обусловливают самую высокую пластичность металла в этом процессе.

Кроме процессов обработки металлов давлением, считающихся основными (волочение, прессование через очко, прокатка, ковка и штамповка), существуют еще сложные виды обработки металлов давлением, занимающие промежуточное положение между основными. Теория таких видов обработки давлением разработана еще сравнительно мало.

Из числа сложных или промежуточных процессов отметим (кроме прокатки с натяжением) еще следующие.

1. Прокатка-штамповка (прокатка на ковочных вальцах). Процесс отвечает прокатке заготовки в паре или в двух парах валков, имеющих на своей поверхности разъемные половинки или четверти штампов, сходящиеся и закрывающиеся при подходе к зоне деформации. Изделия могут иметь сравнительно простую форму (заготовка для штамповки), но могут быть и весьма сложными (прокатка цепей из полос крестообразного сечения).

2. Периодическая прокатка. При обычной продольной прокатке продукт имеет постоянное сечение (профиль) по длине. Можно, однако, выполнить калибровку валков таким образом, что сечение будет изменяться по длине ручья, т. е. по ходу прокатки, причем будет прокатываться уже фасонное (по длине) изделие; на окружности валков последовательно размещается несколько одинаковых калибров, следующих один за другим. При прокатке в таких валках на полосе будет воспроизводиться форма калибров, периодически повторяясь, в связи с чем данный процесс и получил наименование периодической прокатки.

Требуется тщательное установление условий данного процесса и точное регулирование их во время работы с полным согласованием всех условий для нижнего и верхнего валков.

Периодической прокаткой можно изготовлять фасонные изделия, в том числе обычно получаемые штамповкой (если не говорить про фасонное литье); достигается последовательность и большая производительность процесса. Одним из важных видов продукта, получаемого прокаткой на ковочных вальцах или на станах периодической прокатки, является фасонная заготовка для последующих операций ковки в штампах.

Очень большое применение процесс периодической прокатки нашел в специальной области производства труб в виде так называемого пильгерования. Валки пильгерных станов имеют кольцевой калибр с уменьшающимся поперечным сечением, благодаря чему здесь происходит обжатие трубы (на стержне). Особенностью процесса является то, что направления движения валков и продукта взаимно противоположны. Труба просовывается вперед на один шаг, для чего часть калибра представляет собой свободный зазор, затем обжимается в рабочей части калибра, после чего кантуется и вновь продвигается вперед через зазор и т. д.

3. Прокатка продукта переменного сечения (профиля) путем регулировки валков на ходу. Для производства продукта переменного сечения большой длины получили применение процессы прокатки в станах с регулируемым во время работы расстоянием между валками $h$, причем это расстояние может изменяться по тому или иному закону, в зависимости от заданной формы изделия (по длине).

4. Обкатка на специальных машинах. Для получения полых тел вращения (бандажи для колес, кольца для подшипников качения и т. д.) прошитая заготовка предварительно одевается на один валок и затем прокатывается между двумя валками, соприкасающимися с наружной и внутренней поверхностями заготовки.

Кроме процессов, имеющих сложный характер, существует еще большое число видоизменений любого способа обработки давлением, характеризуемых условиями, несколько отличными от основного процесса (волочение через очко или через ролики; прокатка с одним приводным и вторым холостым валком и мн. др.).



Очень важна в практическом отношении проблема выбора того или иного процесса обработки металлов давлением для производства данных изделий из данного металла или сплава; при этом приходится не ограничиваться одной обработкой давлением, но взвешивать возможности применения и других процессов (литье, металлокерамика, электролитическое осаждение и пр.). Если обработка давлением должна применяться, то существенным вопросом является момент перехода к ней от других процессов (вес и размер слитка и пр.).

Выбирая наиболее подходящий технологический процесс, приходится считаться со свойствами обрабатываемого металла. Так, можно отметить необходимость ковки или прессования через очко перед прокаткой, если металл обладает малой пластичностью в литом состоянии (в данном случае имеют значение условия напряженного состояния, сказывающиеся на пластических свойствах металла). При выборе процесса производства данных изделий и при установлении режима отдельных операций принимаются во внимание различные обстоятельства, влияющие на состояние металла во время и после обработки, а также технико-экономические показатели производства.

Переходим к рассмотрению отдельных основных процессов обработки давлением, начиная с процессов *ковки и штамповки.*

## 18. Осадка при ковке

В идеализированных условиях отсутствия внешнего трения ($f = 0$) осадка имеет равномерный характер, так что, например, цилиндрический образец остается цилиндрическим весь период деформации, а образец в форме прямоугольного параллелепипеда сохраняет свою форму и после деформации, изменяя, однако, свои размеры.

Любые ячейки координатной сетки на данной грани или в параллельном сечении внутри тела будут изменяться одинаково.

Так как структурные изменения в металле связаны с величиной деформации, то можно считать, что как структура, так и свойства металла в различных его участках при деформации в отсутствии сил трения будут одинаковыми (однородные строение и свойства).

Как следует из теории пластической деформации, при отсутствии контактных сил трения $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ и деформация протекает в условиях линейного напряженного состояния, причем нормальное главное напряжение $\sigma_1$ распределено по поверхности кон-

такта равномерно. Работа деформации в этих условиях может быть определена из рассмотренного уже выражения (53):

$$A = \quad \text{п} \frac{H}{h}.$$

В реальных процессах $f > 0$, в связи с чем $\sigma_2 > 0$ и $\sigma_3 > 0$, что означает появление объемного напряженного состояния.

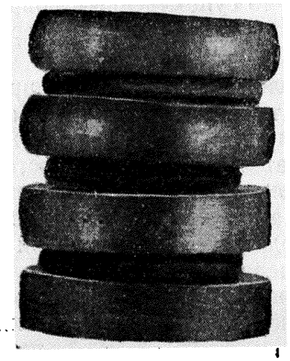



Рис. 51. Величина бочкообразования при одинаковой осадке цилиндрических образцов на различно обработанных плитах:
*1* — третий класс чистоты плиты; *2* — девятый класс чистоты; *3* — двенадцатый класс чистоты; *4* — двенадцатый класс чистоты со смазкой

Поскольку действие контактных сил трения уменьшается по высоте образца, объемное напряженное состояние получается неравномерным в разных точках образца.

Наличие контактного трения значительно изменяет деформацию, причем неравномерность деформации при осадке увеличивается по мере роста сил трения.

Различное развитие бочкообразности хорошо видно при осадке одинаковых образцов под плитами, обработанными с неодинаковой чистотой (рис. 51).

При осаживании тела происходит переход боковой поверхности на контактную поверхность. Этот процесс связан с наличием контактных сил трения и возрастает с увеличением коэффициента трения. На рис. 52 виден процесс перехода боковых граней на торец при осадке цилиндрических свинцовых образцов, с координатной сеткой на их боковой поверхности. С увеличением коэффициента трения это явление возрастает, о чем можно судить при сравнении отдельных образцов.

Явление перехода боковых граней на торцы тесно связано с процессами, происходящими на самых торцах. При наличии контактных сил трения перемещение металла в радиальном направлении сдерживается этими силами, причем образуются зоны затрудненной деформации, примыкающие к контактным поверхностям (рис. 53).

Торможение на торцах осаживаемого образца можно видеть, если предварительно закрасить торцевые поверхности образцов (рис. 54). Темные средние участки свидетельствуют о наличии торможения (прилипания). Периферийные кольцевые части торцов представляют собой участки, перешедшие с боковых граней на торец.

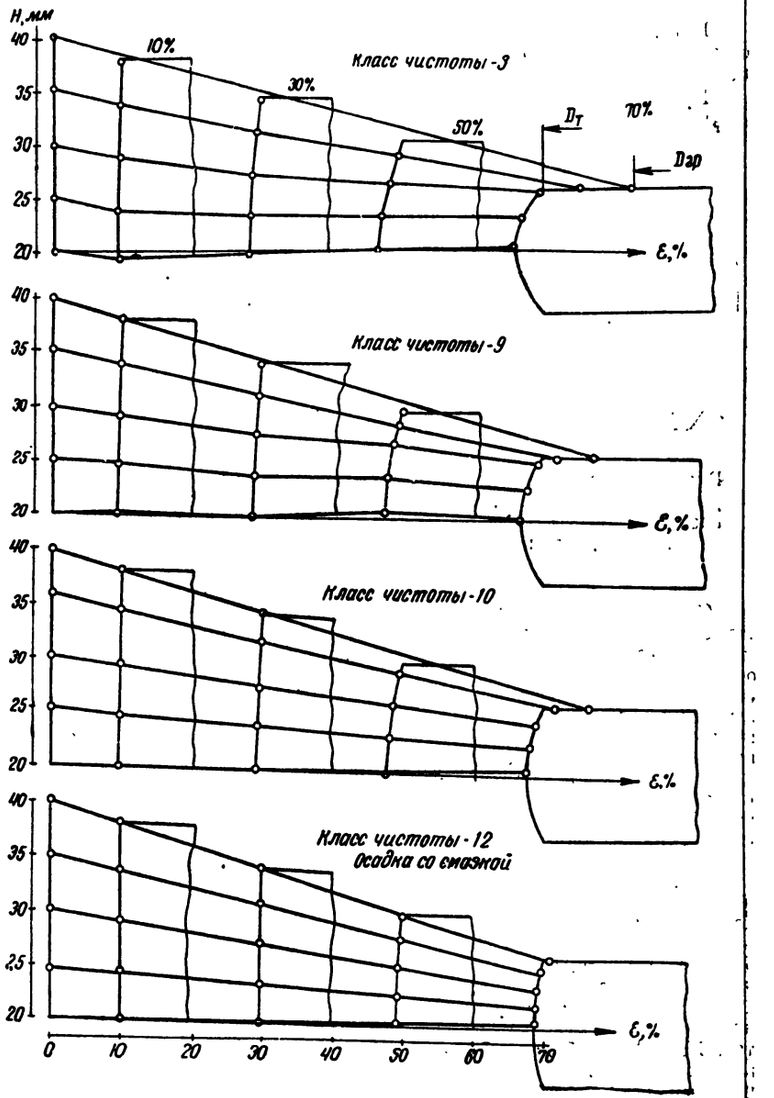



Рис. 52. Стадии перехода боковых граней на торцы при осадке образцов под плитами с различной чистотой обработки и со смазкой.
*H* — высота образца, *мм*; *ε* — степень деформации, % (Я. М. Охрименко)

При данном отношении $D : H$ и величине коэффициента трения $f$ наряду со скольжением металла по контактной поверхности проявляются сдерживающие силы трения.

Преодолеть эти силы легче всего на периферии контакта; именно здесь и появляется скольжение, которое охватывает при данной степени деформации образца тем относительно больший участок, чем ниже коэффициент трения и больше величина $D_{исх} : H_{исх}$.

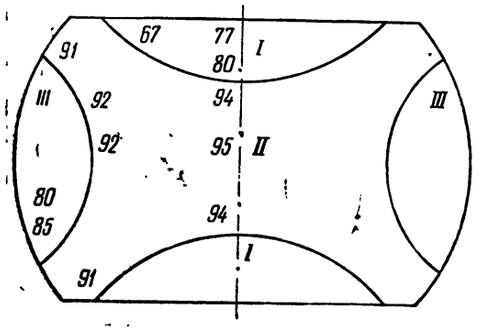



Рис. 53. Различные зоны у осаженного образца (С. И. Губкин). Образец из алюминиевого сплава. Внутри зон показана твердость по Роквеллу

Остальная часть контакта относится к участку прилипания. Если условия растекания металла таковы, что оно тормозится значительно, то в качестве компенсирующего действия начинается процесс перехода боковых граней на торец, который становится тем более вероятен, чем больше коэффициент трения и меньше отношение $D_{исх} : H_{исх}$, однако этот процесс имеет место при любых величинах $D : H$.

Описанные явления показаны на суммарном графике (рис. 55), относящемся к осадке свинцового образца диаметром 25 *мм* и высотой 40 *мм*. По оси абсцисс на этом графике откладываются степени деформации, а по оси ординат — размеры радиуса образца. Линия *1*, характеризует изменение радиуса бочки образца, линия *2* относится к расчетной величине радиуса, полученной в предположении отсутствия контактного трения. Линия *3* представляет фактическую величину радиуса торца образца с учетом перехода боковых граней на торец. Линия *4* показывает изменение исходного радиуса вследствие явления скольжения и линия *5* показывает изменение радиуса участка прилипания. Рис. 55, *а* относится к осадке на грубо обработанных плитах. На рис. 55, *б* дан аналогичный график для осадки на шлифовальных плитах. Бочкообразность здесь выражена менее ярко, чем в предыдущем случае,— переход боковых граней на торец менее интенсивен и участок прилипания снижен.

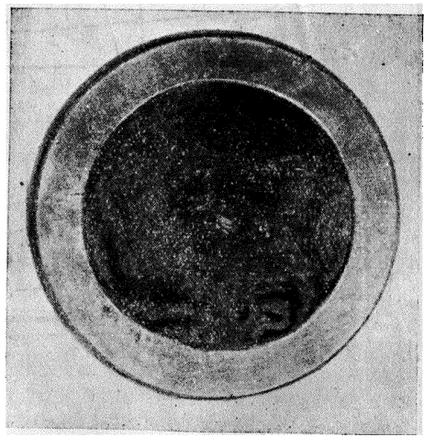


Рис. 54. Участки заторможенного металла на торцах осаживаемых образцов



На рис. 55, *в* приведены те же кривые для случая осадки на полированных плитах. Переход боковых граней на торец здесь ограничен еще более и участок прилипания отсутствует даже при 10% деформации.

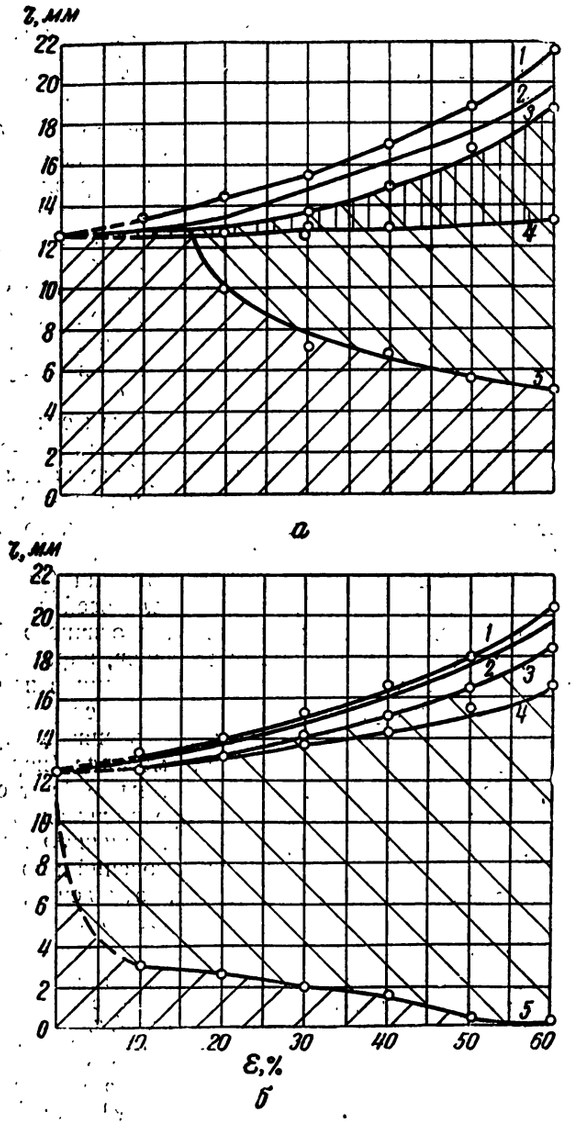
На рис. 55, *г* показан аналогичный график для случая осадки на хорошо смазанных плитах. Это уже случай равномерной деформации.

При осадке на 20—25% очень высоких образцов ($D : H \leq 0{,}4$—$0{,}5$) бочкообразование происходит в двух местах вблизи контактов. При этом зоны, в которых образуется бочкообразность, не отличаются по деформациям и напряжениям от тех, которые имеют место в случае осадки обычных образцов. Область между двумя бочками получает деформацию, близкую к равномерной (И. Я. Тарновский и А. А. Поздеев), что свидетельствует об отсутствии объемного напряженного состояния в средней части осаженного образца с двумя бочками. При дальнейшей осадке (по Е. П. Унксову до 40%) обе бочки сливаются в одну общую и осадка характеризуется обычными условиями.

Осадка образцов с прямоугольным поперечным сечением протекает в более сложных условиях, чем в случае цилиндрических образцов. Неравномерность деформации усугубляется тем, что деформация вдоль контактной поверхности несимметрична. Так как металл течет по линии наименьшего сопротивления, то в случае прямоугольного поперечного сечения образца поперечная деформация (уширение) больше продольной деформации (удлинения). Эта разница имеет наибольшее значение вдоль осей прямоугольника (рис. 56). Вследствие выпучивания, аналогичного бочкообразованию при осадке цилиндрических образцов, параллелепипед принимает в плане форму эллипса и в конце концов поперечное сечение стремится к кругу. Однако сами ребра сохраняются до весьма больших степеней деформации, что объясняется примерно одинаковыми местными условиями течения металла (перпендикулярно обеим сторонам сечения). Описанный выше факт стремления любой формы поперечного сечения превратиться в круглое сечение формулируется в виде *правила наименьшего периметра* в процессе осадки. Это правило не имеет исключений и по существу отражает действие закона наименьшего сопротивления, согласно которому пластические деформации протекают по линии наименьшего сопротивления.

При осадке образцов с поперечным сечением в виде прямоугольника при отсутствии контактных сил трения, когда поперечные сечения остаются геометрически подобными, весь период деформации (рис. 57, *а*, по И. Я. Тарновскому) характеризуется радиальной схемой движения металла, как и в случае цилиндрических образцов. Если предположить одинаковые условия трения вдоль всей контактной поверхности, то, на основании закона наименьшего сопротивления, течение металла будет происходить по кратчайшим нормалям к периметру сечения (рис. 57, *б*, А. Ф. Головин, С. И. Губкин).

На том основании, что при осадке уширение больше, чем продольная деформация, можно сделать заключение о направлении



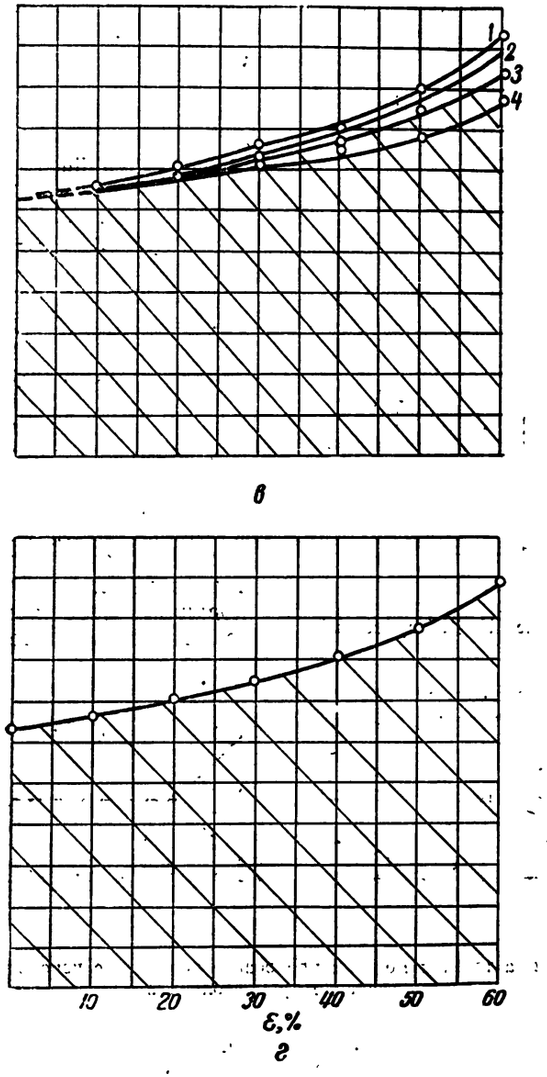




Рис. 55 Суммарный график, иллюстрирующий процессы, происходящие на контактной поверхности осаживаемых образцов (Я. М. Охрименко)

среднего и минимального главных напряжений. Наибольшее напряжение $\sigma_1$ совпадает с действующей внешней силой, наименьшее сопротивление $\sigma_3$ имеет место вдоль максимальной деформации, т. е. перпендикулярно большой стороне прямоугольника, и среднее напряжение $\sigma_2$ действует вдоль большой оси прямоугольника.

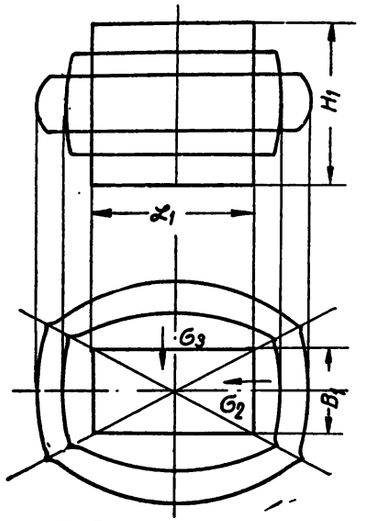



Рис. 56. Схема перехда прямоугольного поперечного сечения в круглое при осадке (И. Я. Тарновский)

Если основание образца представляет собой квадрат, то $\sigma_2 = \sigma_3$ и $\sigma_2 - \sigma_3 = 0$, что соответствует одинаковым деформациям по обеим горизонтальным осям поперечного сечения, как и в случае осадки цилиндрических образцов.

При осадке в реальных условиях параллелепипеда с основанием, у которого имеет место большая разница между длиной и шириной ($b \gg a$) деформация вдоль большей стороны (продольная) относительно невелика и на этом основании в теории напряженного состояния полагают (рис. 57):

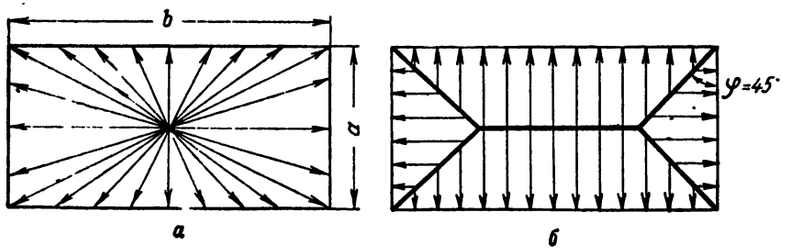



Рис. 57. Схема течения металла при осадке образцов с поперечным сечением в виде прямоугольника

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2},$$

а также

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 1{,}15\,\sigma_т,$$



откуда после преобразований следует:

$$\sigma_2 - \sigma_3 = 0{,}57\,\sigma_т.$$

Таким образом, при различном отношении сторон поперечного сечения осаживаемого параллелепипеда разность изменяется в пределах

$$0{,}57\,\sigma_т \geqslant \sigma_2 - \sigma_3 \geqslant 0. \qquad (56)$$

Большое значение при осадке имеет определение усилия, так как по нему можно найти работу деформации, а также необходимый тоннаж машины — орудия для производства тех или иных операций.

Для определения усилия осадки необходимо знать закон распределения давления по контактной поверхности, при котором осуществляется пластическая деформация, т. е. необходимо знать напряжение на контактной поверхности.

Пусть в некоторый момент осадки цилиндр имеет высоту $H$ и диаметр $D$. Направление главных осей координат выберем так, как показано на рис. 58. Выделим элемент, высота которого равна высоте цилиндра. Расстояние от начала координат до элемента обозначим через $x$, а длину основания элемента через $dx$. Напряжения, действующие на выделенный элемент, показаны на рис. 58. Полагаем, что центральный угол $\alpha$ мал.

Напишем уравнение равновесия (сумма проекций на ось $S$ всех сил, действующих на элемент, равна нулю):

$$\sigma_3\, x\alpha H - (\sigma_3 + d\,\sigma_3)(x + dx)\,\alpha\, H + 2\sigma_2\, dx H \sin\frac{\alpha}{2} - 2\tau\, x\,\alpha\, dx = 0.$$

После преобразования с учетом того, что $\sigma_2 = \sigma_3$ (цилиндр — осесимметричное тело), $2\sin\frac{\alpha}{2} \approx \alpha$ (для малых углов) и пренебрегая малой высшего порядка, получим:

$$d\sigma_3 = -2\tau\frac{dx}{H}, \qquad (57)$$

где $\tau$ — удельная сила трения.

Применяют различные способы определения величины $\tau$. По одному из них

$$\tau = \sigma_1 f, \qquad (58)$$

по другому способу (постоянство сил трения) *.

$$\tau = \sigma_т f. \qquad (59)$$

* Первой из числа известных в литературе выведена формула С. Н. Петрова в предположении $\tau = pf$;

$$p = \frac{\sigma_т}{1 - \frac{fD}{3H}};$$

эта формула верна при $D : H \leqslant 5$.

Решим поставленную задачу, пользуясь уравнением (58). Тогда уравнение (57) запишется так:

$$d\sigma_3 = -\sigma_1 \frac{2f}{H} dx. \qquad (60)$$

Так как в нашем случае $\sigma_2 = \sigma_3$, то в уравнении пластичности $m = 1$ и поэтому имеем:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_T.$$

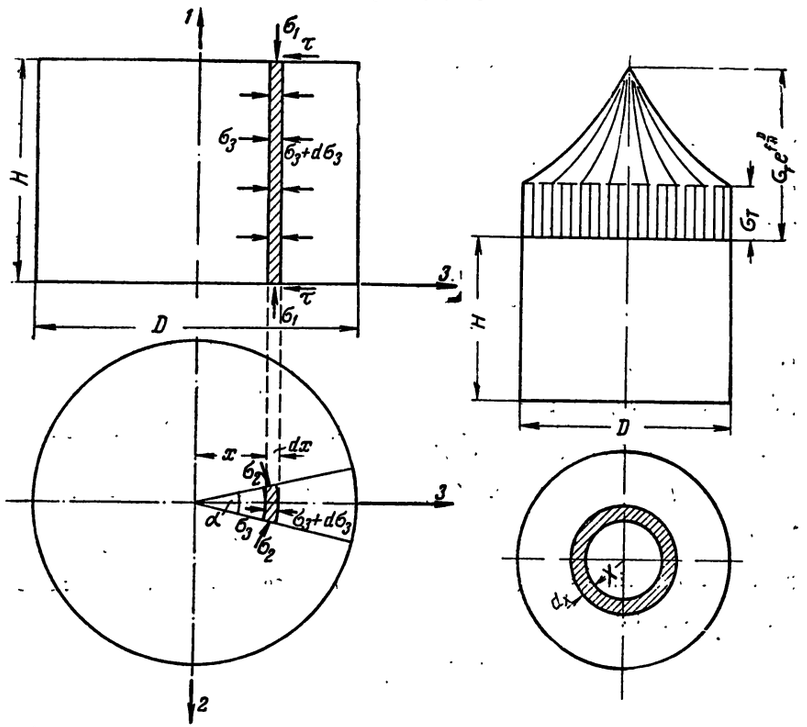



Рис. 58. Схема к выводу формулы удельного давления осадки (Е. П. Унксов)




Рис. 59. Эпюра нормальных напряжений при осадке

Из последнего и уравнения (60) получим:

$$\frac{d\sigma_3}{\sigma_3 + \sigma_T} = -\frac{2f}{H} dx. \qquad (61)$$

После интегрирования получим

$$\ln(\sigma_3 + \sigma_T) = -\frac{2f}{H} x + c$$

или

$$\sigma_3 + \sigma_T = e^{\frac{-2f}{H} x + c}$$



или

$$\sigma_3 + \sigma_T = ce^{\frac{-2f}{H} x}. \qquad (62)$$

Найдем $c$ из граничных условий (на боковой поверхности давление отсутствует):

$$\sigma_3 = 0, \text{ при } x = \frac{D}{2}.$$

После подстановки этого условия в уравнение (62) получим

$$c = \sigma_T e^{\frac{fD}{H}}.$$

Подставим значение $c$ в уравнение (62)

$$\sigma_1 = \sigma_T e^{\frac{2f}{H}\left(\frac{D}{2} - x\right)}. \qquad (63)$$

Последнее уравнение дает нам закон изменения $\sigma_1$, в зависимости от $x$ (рис. 59).

Для технических расчетов наиболее важное значение имеет величина среднего (удельного) давления (сопротивления деформации металла) $p$, которое является частным от деления полного усилия осадки $P$ на площадь контакта $\frac{\pi D^2}{4}$.

Элементарное усилие, приходящееся на площадь элементарного кольца, выразится так (рис. 59):

$$dP = \sigma_1 2\pi x dx$$

или

$$dP = \sigma_T e^{\frac{2f}{H}\left(\frac{D}{2} - x\right)} 2\pi x dx.$$

После интегрирования этого уравнения в пределах изменения $X$ от 0 до $\frac{D}{2}$ получим

$$P = \sigma_T \frac{2\pi}{\left(\frac{2f}{H}\right)^2}\left(e^{f\frac{D}{H}} - 1 - f\frac{D}{H}\right). \qquad (64)$$

Среднее удельное давление (сопротивление деформации) выразится так:

$$p = \frac{2\sigma_T}{\left(f\frac{D}{H}\right)^2}\left(e^{f\frac{D}{H}} - 1 - f\frac{D}{H}\right). \qquad (65)$$

Это формула Е. П. Унксова.

Решение той же задачи в предположении, что $\tau = \tau_т f$, дает следующее выражение для среднего давления:

$$p = \sigma_т\left(1 + \frac{1}{3} f \frac{D}{H}\right). \qquad (66)$$

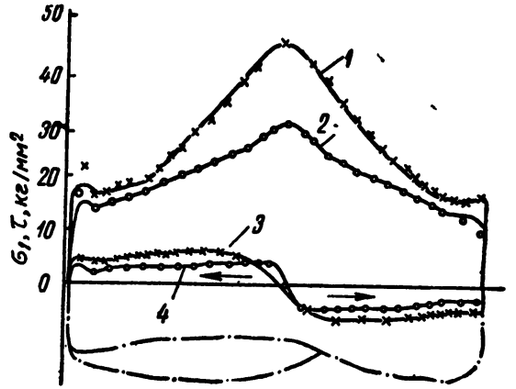



Рис. 60. Экспериментально построенные эпюры нормальных и касательных напряжений при осадке цилиндрических образцов:

*1—3* — осадка без смазки; *2—4* — осадка со смазкой; *1—2* — нормальные напряжения; *3—4* — касательные напряжения

В обычных математических выводах не учитывают различия в условиях контактного трения на участках прилипания и скольжения, поэтому они не могут претендовать на высокую точность. Кроме того, при выводе обычных уравнений делаются большие упрощения (принимается, что $\sigma_3$ не зависит от высотной координаты, что направления главных осей одинаковы в любой точке контакта и в любой момент осадки и т. д.).

В смысле дальнейшего улучшения имеющихся формул наиболее важен вопрос о действительном распределении $\tau$ по контактной поверхности.

Характер этого распределения впервые исследован Е. П. Унксовым (1952), который показал, что силы трения возрастают от края пропорционально нормальным напряжениям, затем имеют постоянное наибольшее значение на некотором участке, после чего падают до нуля в центре контактной площади. Этим же исследователем получены экспериментальные данные по распределению нормальных напряжений, которые имеют куполообразный характер с максимумом в середине контакта в случае осадки цилиндрических образцов (рис. 60).



Однако, судя по высотам слоя металла, вытекающего в узкие щели на инструменте при осадке образцов, это распределение зависит от величины отношения $D : H$ образцов и коэффициента трения, причем может быть и обратным, т. е. не куполообразным, а вогнутой формы. Так, по опытным данным вогнутая форма имеет место при $D : H < 2 \div 2{,}5$, а выпуклая — при $D : H$ более $3{,}5 \div 4{,}0$ (рис. 61, *I*).

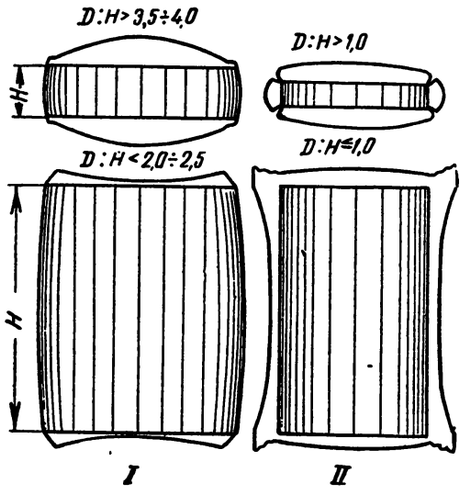



Рис. 61. Форма слоев металла, вытекших в щели инструмента при деформации высоких и низких образцов (Я. М. Охрименко)

Таким образом, известная часть практических случаев ковки и штамповки происходит в условиях, когда нормальные напряжения на торце осаживаемого образца не возрастают, а убывают к его центру.

При деформации металла в закрытом со всех сторон штампе распределение нормальных напряжений, судя по высотам вытекающих в щели слоев металла, имеет характер, показанный на рис. 61, *II*. На торцах высоких образцов имеет место почти ровный слой металла, который становится тем более выпуклым, чем $D : H > 1{,}0$. На боковой поверхности вогнутость слоев имеет место при $D : H \leqslant 1{,}0$. При $D : H > 1{,}0$ вытекающий в щель слой металла становится выпуклым.

Е. П. Унксов предложил упрощенную формулу для определения среднего удельного давления (сопротивления деформации) при горячей осадке цилиндра до конечных размеров $D$ и $H$:

$$p = \sigma_т\left(1 + 0{,}17 \frac{D}{H}\right); \qquad (67)$$

Таким образом, по расчетным формулам получается, что удельное давление зависит от $\frac{D}{H}$ и $f$. Чем больше $f$, а также чем больше $\frac{D}{H}$, тем больше $p$.

Качественно эта зависимость подтверждается опытными данными.

Интересно отметить, что для высоких цилиндров (малые $\frac{D}{H}$) $p$ слабо зависит от $f$ и $\frac{D}{H}$, но для низких цилиндров (большие $\frac{D}{H}$) $p$ очень сильно зависит от этих факторов.

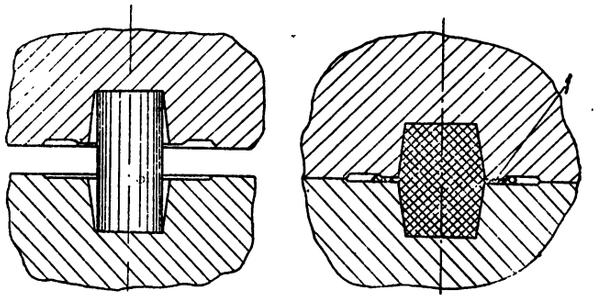



Рис. 62. Штамповка осадкой:
*1* — заусенец

Работа при осадке определяется посредством логарифмической формулы, уже рассмотренной нами ранее.

В практике штамповки широко применяется осадка в полости штампов в качестве предварительной операции. К операциям этого типа можно также отнести штамповочные операции в окончательных ручьях, при которых преобладает осадка с заполнением рельефа полости (рис. 62). Эта операция осадки, при которой схема напряженного состояния—трехосное сжатие, выражена более ярко, чем при обычной осадке. Кроме контактных сил трения здесь большую роль играет подпирающее действие стенок штампа, так что общее давление течения резко возрастает.

Важнейшей операцией в кузнечном производстве является и обычная свободная осадка между плоскими плитами.

## 19. Протяжка

Операция протяжки (вытяжки) весьма часто применяется в технологии ковки и горячей штамповки.

Операцию протяжки можно рассматривать состоящей из ряда последовательно осуществленных осадок, причем в отличие от обычной осадки при протяжке всегда имеются внешние жесткие концы заготовки (на рис. 63, *I* и *II*).



Таким образом, единичная деформация при протяжке — это осадка бойком, который не перекрывает с одной или с двух сторон заготовку.

Внешние части заготовки сдерживают деформации в перпендикулярном направлении относительно оси заготовки (уширение)

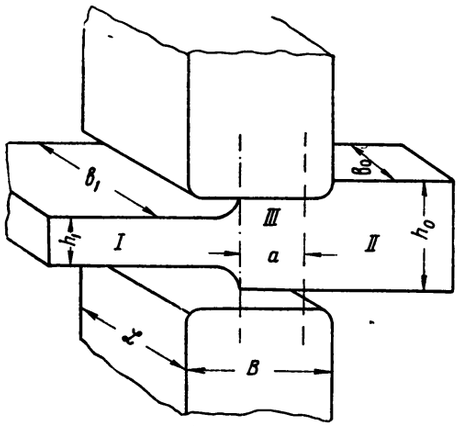



Рис. 63. Схема операции кузнечной протяжки

и таким образом способствуют увеличению продольной деформации, т. е. протянутой длины при данной высотной деформации $\frac{h_0}{h_1}$. Соотношение продольной и поперечной деформаций зависит от величины подачи $a$ численно равной $l_0$ при протяжке. Рассмотрим деформацию элемента, находящегося при протяжке между бойками (рис. 63, *III*).

Если размеры элемента, находящегося к началу деформации между бойками $h_0$, $b_0$, $l_0$, то после деформации эти размеры станут равными соответственно:

$$h_1 = h_0 - \Delta h; \quad b_1 = b_0 + \Delta b; \quad l_1 = l_0 + \Delta l,$$

где $\Delta h$ — обжатие;
$\Delta b$ — уширение;
$\Delta l$ — удлинение.

Площадь бойка используется наиболее рационально, если его ширина $B = l_0 + \Delta l$.

Величина $\lambda = \Delta l : \Delta b$ называется коэффициентом удлинения при протяжке.

Опытным путем установлено, что величина $\lambda$ зависит от отношения величины подачи $a$ к ширине $b_0$ протягиваемой заготовки.

Так, при $\frac{a}{b_0} \approx 1{,}5$ $\lambda = 1$, при $\frac{a}{b_0} > 1{,}5$ $\lambda < 1$ и при $\frac{a}{b_0} < 1{,}5$ $\lambda > 1$ (Цшейле).

Следовательно, для получения наилучших условий протяжки величина подачи должна быть меньше чем 1,5 ширины заготовки.

Как показали опыты, наличие внешних частей при протяжке приводит к появлению продольных растягивающих напряжений в части очага деформации, примыкающей к боковой поверхности полосы. Это связано с возможностью поверхностных надрывов.

Кузнечная протяжка выполняется так же между вырезными бойками. Хотя сопротивление деформации металла при этом повышается, значительно возрастает и пластичность металла, чем и пользуются в случае обработки малопластичных металлов. Для ускорения протяжки на ее первых стадиях и в случае достаточно пластичных металлов применяют бойки закругленной (см. рис. 347) формы.

После протяжки такими бойками полоса получается с гребнями, которые затем сглаживаются на плоской части бойков.

Удельное давление при протяжке может быть определено таким же способом, как и при осадке. Приближенная формула Е. П. Унксова для плоских бойков имеет вид:

$$p = 1{,}15\,\sigma_т\left(1 + \frac{f}{2}\,\frac{a}{h_1}\right), \qquad (68)$$

где $a$ — подача;

$h_1$ — высота протянутой заготовки.

## 20. Прошивка

Операция прошивки весьма распространена при свободной ковке и горячей штамповке и заключается в образовании полости внутри заготовки. Прошивка, применяющаяся при свободной ковке, обычно бывает открытой (рис. 64). Заготовка *1* устанавливается на плоский боек и с помощью прошивня *2* прошивается отверстие диаметром $D$.

При прошивке таким способом металл под прошивнем выдавливается в стороны, причем настолько интенсивно, что при небольшой величине перемычки $h$ в зоне I периферийная часть заготовки II даже отделяется от прошивня в его нижней части. Заготовка получает бочкообразность, в месте входа прошивня в заготовку образуется утяжина, а нижние края торца заготовки несколько приподнимаются над уровнем бойка. Высота заготовки в процессе прошивки остается неизменной, если $\frac{D_п}{D} \leqslant 0{,}5 \div 0{,}6$ для случая плоского торца прошивня. В противном случае заготовка осаживается, и тем больше, чем больше указанное отношение приближается к 1, когда имеет место осадка без прошивки.



При закрытой прошивке заготовка сначала раздается свободно, но затем встречает стенки полости, и процесс протекает в новой обстановке (рис. 65). Если полость штампа имеет дополнительные карманы или углубления, то вытесненный металл будет

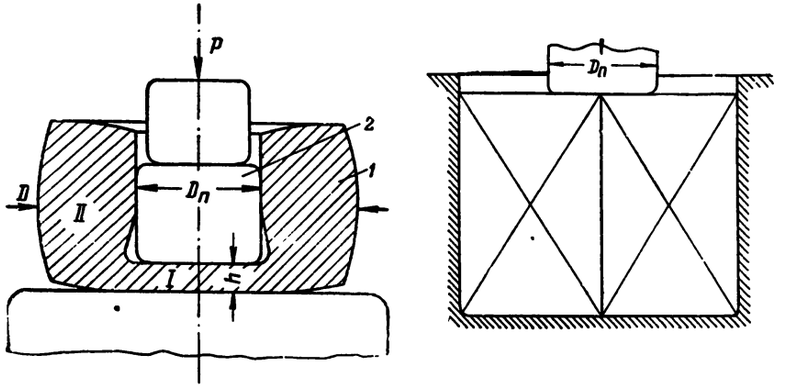



Рис. 64. Схема открытой прошивки

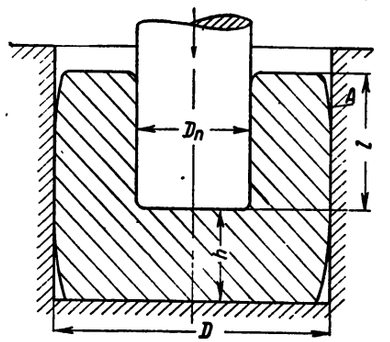



Рис. 65. Схема закрытой прошивки



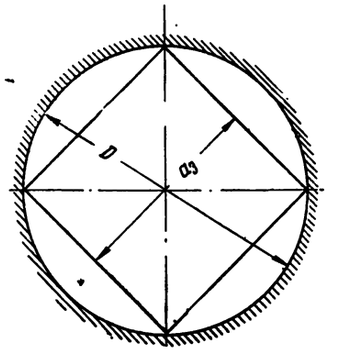




Рис. 66. Схема прошивки квадратной заготовки в цилиндрической полости штампа

поступать в них до тех пор, пока сопротивление поступающего металла не превысит сопротивления выдавливания металла между стенками полости и прошивнем навстречу движению последнего. Этот процесс представляет собой обратное выдавливание.

В качестве сложного примера прошивки можно привести прошивку квадратной заготовки в матрице с круглым отверстием (рис. 66). Квадратная заготовка размером стороны $a_з$ помещается в матрицу диаметром $D = a_з\sqrt{2} + 1{,}2$ *мм* и затем прошивается.

Выпучивание граней заготовки приводит к встрече заготовки с боковыми стенками матрицы, и некоторый момент будет происходить радиальная раздача металла, а затем при дальнейшей прошивке — обратное выдавливание металла.

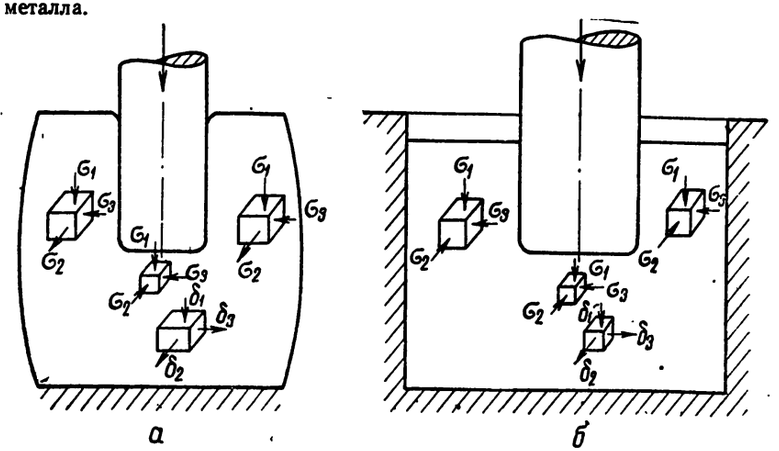



Рис. 67. Механические схемы напряжений и деформации при прошивке (С. И. Губкин):
*а* — открытая прошивка; *б* — закрытая прошивка

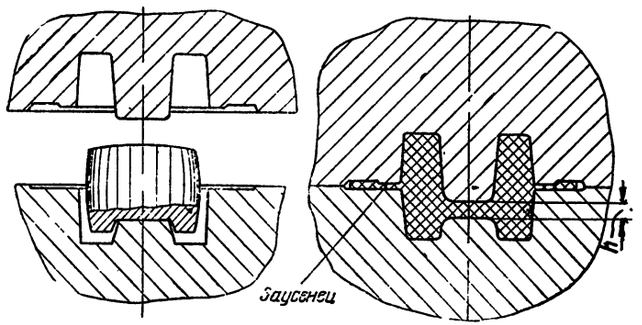



Рис. 68. Образование полости прошивкой при штамповке

Схемы напряжений и деформаций при прошивке представлены на рис. 67. Е. П. Унксов [10] вывел следующую формулу для удельного давления при открытой прошивке:

$$p = \frac{2\sigma_т}{\left(f\frac{D_п}{h}\right)^2}\left(1 + 1{,}15\ln\frac{D}{D_п}\right)\left(e^{f\frac{D_п}{h}} - 1 - f\frac{D_п}{h}\right) \quad (69)$$

(обозначения по рис. 65).



С. И. Губкин предложил следующую формулу для удельного давления при закрытой прошивке:

$$p = 1{,}1\,\sigma_т\left(2 + \frac{4fl}{D - D_п} + \frac{f}{3}\frac{D_п}{h}\right). \quad (70)$$

Наибольшее удельное давление будет в конце прошивки, когда $l$ — наибольшее, а $h$ — наименьшее. На рис. 68 показан пример штамповки с образованием полости путем прошивки (предварительно заготовка получила наметку для центровки при закладывании в окончательный ручей). Внешняя часть заготовки заполняет полость штампа путем истечения.

## 21. Ковка на подкладных кольцах

При ковке на двух подкладных кольцах можно из круглой заготовки получить поковку с двумя выступами (рис. 69, *а*). Для получения изделия с одним выступом ковка производится на одном подкладном кольце (рис. 69, *б*).

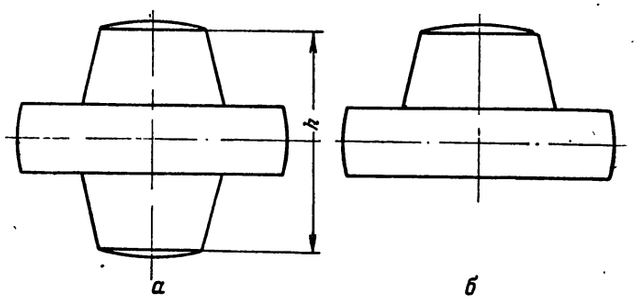



Рис. 69. Форма изделий, получающихся при ковке на подкладных кольцах:
*а* — на двух подкладных кольцах; *б* — на одном подкладном кольце

Из сравнения рис. 69 с рис. 64 видно, что ковка на подкладных кольцах является операцией противоположной открытой прошивке.

Опыты показывают, что высота центральной части поковки в одних условиях уменьшается, а в других увеличивается, что зависит от соотношений размеров поковки в каждый данный момент процесса.

В начальных стадиях ковки при малой величине отношения $\frac{D}{H}$ происходит уменьшение $h$, т. е. металл вытекает более интенсивно из центральной части поковки в периферийную, а в дальнейшем более интенсивно в отверстия колец и происходит увеличение $h$

## 22. Определение тоннажа кузнечных машин-орудий

Наиболее просто определить работу или давление непосредственным измерением этих величин с помощью динамометра, силомера, ходомера и т. д., однако это требует предварительного осуществления данного процесса, во многих случаях еще только проектируемого.

Экспериментально-расчетный способ определения работы и давления основан на моделировании процессов пластической деформации с измерением необходимых величин и последующим их пересчетом с помощью масштабных коэффициентов.

Трудность этого способа состоит в правильной оценке условий подобия с нахождением пересчетных коэффициентов. Положение о подобии заключается в наличии пропорциональности между работами $A$ и объемами $V$, если деформируются подобные тела одинакового вещества:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2}, \tag{71}$$

а также между давлениями $P$ и контактными площадями $\omega$ подобных тел

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \tag{72}$$

Если объем модели или площадь контакта равны единице, то из первого выражения имеем

$$A = aV, \tag{73}$$

где $a$ — удельная работа деформации;
и из второго выражения

$$P = p\omega, \tag{74}$$

где $p$ — сопротивление деформации (удельное давление);
$\omega$ — соответствующая проекция контактной поверхности.

Эти выражения и положены в основу подбора машин для ковки и штамповки. В случае использования первого выражения метод расчета называют объемным, а при использовании второго выражения — плоскостным. Для того чтобы учесть влияние скорости деформации, масштабного фактора неравномерности напряженного состояния и ряда других факторов, в формулы вводят дополнительные коэффициенты или определяют удельную работу (или давление) в условиях данного процесса.

По О. О. Сонгину (1894), минимальная удельная работа $a$ свободной ковки составляет 0,4 *кгм* на 1 *см*³ заключенного между плоскими бойками металла. Однако для успешной ковки он рекомендует принимать $a = 0{,}6$—$0{,}8$ *кгм/см*³ и при массовом производстве даже 1,0 *кгм/см*³. При работе с вырезными бойками $a$ составляет соответственно 0,2; 0,35 и 0,5 *кгм/см*³. С. В. Порецкий (1923) подтвердил эти данные. Е. П. Унксов (1933) также получил аналогичные результаты; на основании своих опытов он принимает $a = 1{,}0$ *кгм/см*³ при ковке мелких тонких поковок и при осадке дисков. Расчет ведется по формуле (73):

$$A_{уд} = aV.$$

Проф. И. А. Тиме (1899) предложил для определения общей работы при протяжке на плоских бойках формулу

$$A_{общ} = 75q\Delta(k-1), \tag{75}$$

где $q$ — вес поковки, *кг*;
$\Delta$ — удельная работа протяжки, равная 40—50 *кгм/кг*;
$k$ — коэффициент укова (при протяжке).

Один из эмпирических методов определения работы деформации при штамповке учитывает число ударов молота. Расчет ведут по формуле:

$$A_{уд} = \frac{\alpha F}{n}, \tag{76}$$

где $F$ — площадь проекции изделия, *см*²;
$\alpha$ — удельная работа на 1 *см*² площади;
$n$ — число ударов.

По О. И. Залесскому $\alpha = 156$ *кгм/см*² для молотов двойного действия. $A_{уд}$ соответствует используемому запасу работы одного удара молота в килограммометрах.

Упрощенная формула М. В. Сторожева для сопротивления деформации при штамповке имеет вид

$$P = 2\beta z \sigma_т^{ср}\left(1 + f\frac{s}{h}\right)F', \tag{77}$$

где $\beta$ — для тел вращения равен 1 и для тел с прямоугольной проекцией 1,15;
$z$ — коэффициент неравномерности напряженного состояния; в зависимости от сложности поковки он берется равным 1—1,5;

$$\sigma_т^{ср} = \frac{\sigma_т' + \sigma_т''}{2},$$

где $\sigma_т'$ — предел текучести металла поковки при температуре конца штамповки и $\sigma_т''$ то же для заусенца;
$s$ — ширина мостика заусенца;
$h$ — толщина заусенца;
$F'$ — площадь проекции поковки, включая мостик заусенца.

Полное давление деформации, по которому подбирают кузнечное оборудование, определится из произведения удельного давления на площадь проекции поковки и на ряд коэффициентов, учитывающих факторы, еще не учтенные при выводе данной формулы удельного давления.

Здесь имеется в виду учет масштаба (по С. И. Губкину при изменении объема поковки с 25 до 25 000 *см*³ этот коэффициент изменяется от 1,0 до 0,4); скорость деформации (по С. И. Губкину для гидравлических прессов коэффициент, учитывающий влияние скорости деформации, равен 1—1,25; для кривошипных и фрикционных машин 1,25—1,5; для молотов 2,0—3,0); неравномерность напряженного состояния (по С. И. Губкину для изделий простой формы следует брать коэффициент 1,1; для изделий сложной формы 1,3 и для весьма сложных форм 1,5; при условии неравномерности распределения температуры эти коэффициенты соответственно повышаются до 1,3; 1,5 и 1,8).

Удельное давление можно подсчитать по формулам, уже рассмотренным ранее (§ 20).

Для перехода от работы к весу падающих частей молота служат следующие выражения:

$$\text{а)}\quad A_{уд} = \frac{A_{общ}}{n} = \eta \frac{Gv^2}{2g}; \tag{78}$$

$$\text{б)}\quad A_{общ} = 1{,}8\, G H_м\, n\, \eta, \tag{79}$$

где $A_{общ}$ — работа, необходимая для совершения данной операции, *кгм*;

$\eta$ — к. п. д. удара (0,8—0,95);

$n$ — число ударов;

$G$ — вес падающих частей, *кг*;

$g$ — ускорение силы тяжести, *м/сек²*;

$v$ — скорость рабочих органов молота в момент удара (4,5—7,5 *м/сек*);

$H_м$ — высота падения рабочего инструмента, *м*.

В некоторых случаях при выводе формул для работы деформации полную работу $A_{общ}$ определяют как сумму двух составляющих

$$A_{общ} = A_{деф} + A_{тр},$$

где $A_{деф}$ — работа без учета сил трения,

$A_{тр}$ — работа сил трения при деформации.

Для определения веса падающих частей молота подсчитывают сперва работу деформации, а затем по работе определяют вес падающих частей молота при помощи формулы (78).

Необходимое давление пресса определяется по наибольшему усилию деформации, причем давление пресса, как и вес падающих частей молота, принимается по ближайшему большому значению, имеющемуся в характеристике машин нужного типа.

---



# *Глава VI*

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОКАТКИ

## 23. Условия захвата полосы и установившегося процесса прокатки

Дуге $AB$, по которой осуществляется контакт между полосой и валками при установившемся процессе прокатки, отвечает центральный угол $\alpha_ц$, именуемый углом касания. Этот угол несколько отличается (благодаря упругим деформациям валков) от начального угла $\alpha_з$, под которым полоса встречается с валками, называемого углом захвата. Однако в порядке упрощения обычно не проводят разницы между этими двумя углами, именуя их углом захвата $\alpha$. Введем угол трения $\beta$:

$$f = \operatorname{tg}\beta \approx \beta.$$

Подаваемая в валки с известной силой полоса в свою очередь воспринимает со стороны валков нормальные реакции $R$ и силы трения $T$ (рис. 70). Если $\beta > \alpha$, то полоса захватывается валками и происходит переход от естественного захвата полосы валками к установившемуся процессу. Условие $\beta = \alpha$ является крайним, при котором может произойти захват или валки будут проскальзывать по переднему концу полосы (нередко при такой «борьбе» сил полоса даже выбрасывается из валков). При $\beta < \alpha$ естественный захват невозможен. Таким образом, условия захвата ограничивают угол $\alpha$, связанный с абсолютным обжатием полосы (рис. 71):

$$H - h = D(1 - \cos\alpha). \tag{80}$$

или упрощенно:

$$H - h = D(1 - \cos\alpha) = D\, 2\sin^2\frac{\alpha}{2} \approx R\,\alpha^2. \tag{81}$$

Ограничение угла $\alpha$, следовательно, распространяется и на обжатие $H - h$ (при данном диаметре валков $D$).

В практических условиях прокатки происходит сплющивание передних кромок полосы и поэтому равнодействующая давления приложена под углом меньшим, чем $\alpha$. Это улучшает захват и дает возможность иметь угол захвата несколько больший, чем $\beta$, и соответственно увеличивать $H - h$.

Важно, что при известном коэффициенте трения естественный захват происходит в более тяжелых условиях, чем мог бы идти установившийся процесс прокатки (если бы он возникал без естественного захвата).

По мере заполнения металлом зева валков точка приложения $M$ равнодействующей $F$ (см. рис. 70, *б*) смещается все ближе к середине дуги захвата, куда она приходит уже при полном запол-

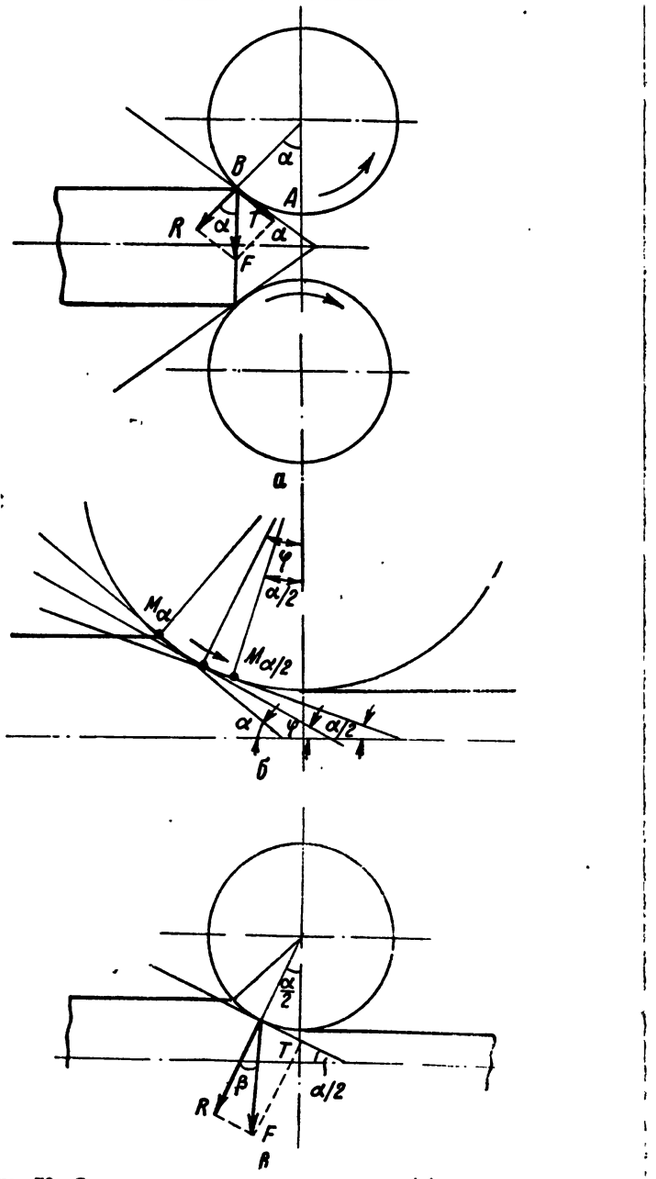



Рис. 70. Схемы захвата полосы валками (*а*), перехода к установившемуся процессу (б) и самостоятельно возникающего установившегося процесса (*в*)



нении, т. е. к началу установившегося процесса. Угол клина φ постепенно уменьшается от α до $\frac{\alpha}{2}$ (см. рис. 70, *б*). Если условно допустить, что коэффициент трения постоянен, то будет постоянен и угол между реакцией $R$ и равнодействующей $F$, равный углу трения β. Таким образом, по мере перехода от захвата к установившемуся процессу все время происходит отклонение равнодействующей $F$ в сторону движения полосы.

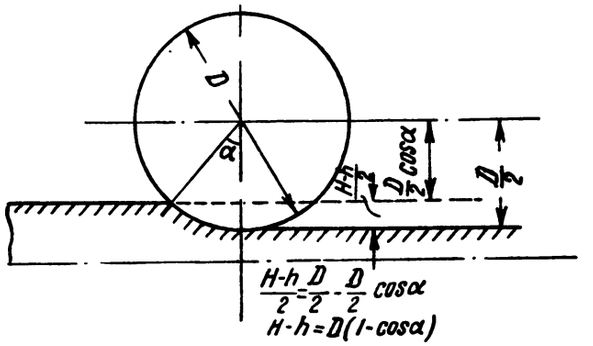



Рис. 71. Схема к выводу формулы, связывающей обжатие полосы, диаметр валков и угол захвата

Если бы установившийся процесс возник самостоятельно, то равновесию горизонтальных сил прокатки, т. е. вертикальному положению равнодействующей $F$, отвечало бы соотношение (см. рис. 70, *в*).

$$\beta = \frac{\alpha}{2} \quad \text{или} \quad \alpha = 2\beta. \tag{82}$$

При том же угле захвата α и том же обжатии $H - h$, что и в случае естественного захвата полосы, угол трения β (коэффициент трения $f$) мог бы в данном случае быть в два раза ниже:

$$\beta = \frac{\alpha}{2}.$$

С другой стороны при том же угле трения (коэффициент трения $f$) угол захвата α мог бы быть в два раза больше с соответствующим увеличением обжатия $H - h$. Такой случай отвечает соотношению $\alpha = 2\beta$. Однако в обычных случаях прокатки действительно соотношение $\beta = \frac{\alpha}{2}$; так как угол захвата α остается постоянным. Таким образом, хотя для естественного захвата и надо иметь угол трения (коэффициент трения $f$) $\beta = \alpha$, но когда металл уже войдет в валки, надобность в таком угле трения утрачивается

и он мог бы составлять только $\frac{\alpha}{2}$. Это было бы, однако, только при одинаковом значении коэффициента трения при захвате и в установившемся процессе. Если в последнем случае этот коэффициент трения ниже, то разница в условиях обоих процессов также сокращается, например до 1,5 вместо 2.

В результате все же значительная доля сил трения оказывается излишней и расходуется иным образом, а именно — обусловливает увеличение скорости движения прокатываемой полосы, причем со стороны выхода из очага деформации эта скорость оказывается больше самой скорости валков (явление опережения).

## 24. Продольная деформация при прокатке

Благодаря опережению только по некоторой части длины дуги касания силы трения имеют одинаковое направление с вращением валков, а в остальной части длины дуги касания, примыкающей к плоскости выхода полосы из валков, силы трения направлены в сторону, противоположную направлению вращения валков. Граница между этими двумя участками расположена под некото-

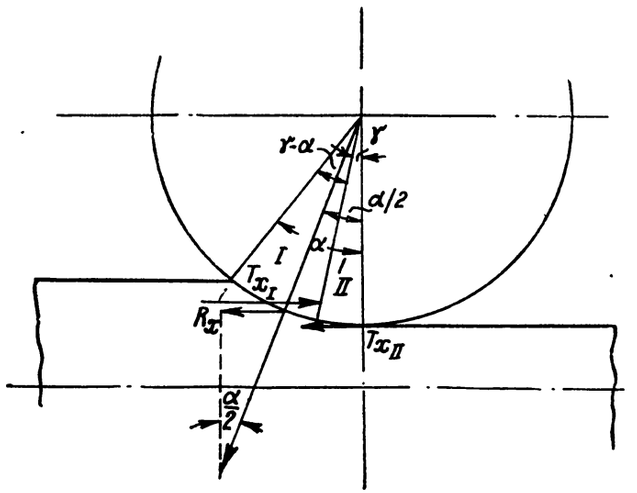



Рис. 72. Схемы действия горизонтальных сил прокатки при отсутствии прилипания

рым центральным углом γ, называющимся критическим углом, а вертикальное сечение в зоне (очаге) деформации, проходящее через эту линию, называется критическим сечением (рис. 72).



Величина опережения $S_h$ обычно определяется в виде относительной разности скорости полосы и валков в плоскости выхода, выраженной в процентах:

$$S_h = \frac{v_h - v}{v} 100\ \%. \qquad (83)$$

Рассматривая участок между критическим сечением и плоскостью входа, придем к выводу, что в этой области валки опережают металл или металл отстает от валков. Вследствие этого в плоскости входа скорость полосы меньше горизонтальной проекции окружной скорости валков (или горизонтальной скорости валков). Это явление называется отставанием и выражается следующим образом:

$$S_H = \frac{v\cos\alpha - v_H}{v\cos\alpha} 100\ \%. \qquad (84)$$

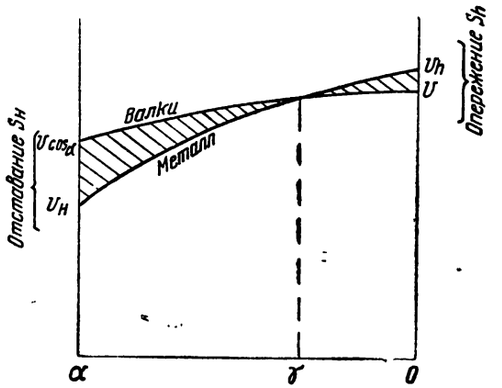



Рис. 73. Схема скоростных условий прокатки

Схема скоростных условий процесса прокатки показана на рис. 73.

Для вычисления $S_h$ и $S_H$ необходимо знать угол γ. И. М. Павлов вывел уравнение для γ, исходя из условия равновесия (см. рис. 72):

$$T_{x_I} - R_x = T_{x_{II}}. \qquad (85)$$

В порядке упрощения можно считать, что

$$f = \operatorname{tg}\beta \approx \beta \quad \text{и} \quad \sin\frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2},$$

и не различать касательные и горизонтальные силы трения (т. е. полагать, что косинусы углов равны единице). Тогда получим (для единицы ширины полосы):

$$T_{x_I} = pR(\alpha - \gamma)\beta; \tag{86}$$

$$R_x = pR\alpha \sin\frac{\alpha}{2} = pR\frac{\alpha^2}{2}; \tag{87}$$

$$T_{x_{II}} = pR\gamma\beta. \tag{88}$$

Подставляя эти значения в соотношение (85), имеем:

$$(\alpha - \gamma)p\beta - p\frac{\alpha^2}{2} = p\gamma\beta,$$

откуда

$$\alpha - 2\gamma = \frac{\alpha^2}{2\beta}$$

или

$$\gamma = \frac{\alpha}{2}\left(1 - \frac{\alpha}{2\beta}\right). \tag{89}$$

Зависимость (89) — основное соотношение прокатки — приближенно выражает связь между тремя характеристическими углами: углом захвата $\alpha$, углом трения $\beta$ и критическим углом $\gamma$.

При большом избытке сил трения отношение $\frac{\alpha}{2\beta}$ становится весьма малым, причем угол $\gamma$ приближается в своему пределу $\gamma = \frac{\alpha}{2}$. Если захват произошел при условии $\beta = \alpha$, то в установившемся процессе

$$\gamma = \frac{\alpha}{2}\left(1 - \frac{\alpha}{2\beta}\right) = 0{,}25\,\alpha = 0{,}25\,\beta.$$

Таким образом, переход от захвата (при $\alpha = \beta$) к установившемуся процессу, сопровождающийся (при условии постоянства коэффициента трения) освобождением половины всего трения, обусловливает развитие области накопления опережения на одной четвертой части зева валков. Наконец, если подставить в соотношение (89) значение $\beta = \frac{\alpha}{2}$ (условие самостоятельно возникшего установившегося процесса), то получим:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2}\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha}\right) = 0.$$

Формула для расчета опережения выводится из условия постоянства секундного объема металла, проходящего через любое вертикальное сечение зоны (очага) деформации при установившемся процессе прокатки



$$v_H H B_1 = v_h h B_2 = v_\gamma H_\gamma B_\gamma \tag{90}$$

(величины с индексом $\gamma$ относятся к критическому сечению).

В критическом сечении отсутствует взаимное смещение между полосой и валками, поэтому:

$$v_\gamma = v\cos\gamma.$$

Так как угол $\gamma$ обычно равен нескольким градусам, то, не допуская большой погрешности, можно положить $\cos\gamma = 1$ и, следовательно,

$$v_\gamma \approx v.$$

После подстановки последнего в уравнение (90) получим

$$\frac{v_h}{v} = \frac{B_\gamma}{B_2}\frac{H_\gamma}{h}.$$

При отсутствии уширения в области опережения (или при пренебрежении им) получим

$$\frac{v_h}{v} = \frac{H_\gamma}{h}.$$

После подстановки последнего в уравнение (83) находим

$$S_h = \frac{H_\gamma}{h} - 1$$

Согласно формуле (81) $H_\gamma - h = R\gamma^2$ или $H_\gamma = h + R\gamma^2$. Поэтому после простых преобразований будем иметь:

$$S_h = \gamma^2\frac{R}{h}. \tag{91}$$

Эта формула является упрощенной, так как было сделано допущение, что в критическом сечении горизонтальная скорость валков равна окружной скорости валков.

Точная формула имеет вид:

$$S_h = \frac{B_\gamma}{B_2}\frac{[D(1-\cos\gamma)+h]\cos\gamma}{h} - 1. \tag{92}$$

Отставание $S_H$ можно определить самостоятельно, но имея формулу опережения, легко получить из нее и формулу для отставания, связав эти две величины:

$$S_H = \frac{v\cos\alpha - v_H}{v\cos\alpha} = 1 - \frac{v_H}{v\cos\alpha},$$

откуда

$$S_H = 1 - \frac{v_h}{v_\mu\cos\alpha} = 1 - \frac{1+S_h}{\mu\cos\alpha} \tag{93}$$

или

$$S_H = 1 - \frac{B\gamma}{B_1}\frac{[D(1-\cos\gamma)+h]\cos\gamma}{H\cos\alpha}. \tag{94}$$

В данном случае отставание $S_H$ лишь для удобства вывода определялось по горизонтальной оси, вообще же оно имеет одинаковое значение и по вертикальной оси и в касательном направлении.

Точное значение опережения и отставания необходимо при проектировании и анализе технологического процесса прокатки на непрерывных станах, при прокатке с образованием петли, а также при прокатке периодических профилей.

Выше при сопоставлении скоростей в определенных вертикальных сечениях зоны (очага) деформации имелась в виду средняя скорость металла в данном сечении. Кроме того, предполагалось, что по обе стороны от критического сечения по всей длине дуг зон опережения и отставания имеет место скольжение между полосой и валками. В действительности, в известных условиях прокатки может иметься зона прилипания, расположенная по обе стороны от критического сечения, и фактические продольные скорости в данном вертикальном сечении могут отклоняться от среднего значения. Все это является следствием неравномерности деформации при прокатке и должно учитываться в точных исследованиях процесса.

## 25. Поперечная деформация при прокатке

Основной схемой напряженного состояния прокатываемой полосы является трехосное сжатие. Природа подпирающих продольных напряжений, вызываемых трением, теперь нам уже достаточно ясна (см. рис. 72); знак же высотного и поперечного напряжений не мог вызвать сомнений и раньше. Однако на основную схему накладывается еще влияние дополнительных условий (например, влияние внешних частей полосы, вызывающих, в частности, растяжение кромок полосы; влияние неравномерности температуры металла и т. д.).

Совсем особые условия напряженного состояния имеются при прокатке в ручьевых валках и в других случаях прокатки с заведомо предусмотренным неравномерным обжатием по ширине полосы.

Существенное значение для процесса прокатки представляет определение уширения, т. е. поперечной деформации (поскольку она не задана наперед, как при волочении и прессовании через очко).

Наиболее старая, простейшая формула имеет вид:

$$B_2 - B_1 = a(H - h), \qquad (95)$$

где $a$ — коэффициент, в среднем равный 0,5, но значительно изменяющийся в зависимости от многих условий.

Часто пользуются несколько более сложной формулой:

$$B_2 - B_1 = c\frac{H-h}{H}\sqrt{(H-h)R}, \qquad (96)$$

для которой можно брать коэффициент $C$ от 0,35 до 0,40. Формулу этого типа предложил С. Н. Петров, — а данного вида, позже — Э. Зибель.

Относительное уширение — $\frac{B_2}{B_1}$ характеризует поперечную деформацию более правильно, чем абсолютное уширение ($B_2 - B_1$). Так как объем прокатываемой полосы постоянен, то при заданном относительном обжатии имеем:

$$\frac{H}{h} = \text{const} = \frac{L_2}{L_1}\cdot\frac{B_2}{B_1}.$$

Это уравнение показывает, что при заданном $\frac{H}{h}$ изменение поперечной деформации обязательно влечет за собой обратное изменение продольной деформации.

При изменении диаметра валков, но при прочих равных условиях, изменяется угол захвата и длина дуги касания полосы с валками, или длина зоны (очага) деформации, которую можно оценивать длиной хорды:

$$l = \sqrt{(H-h)R}.$$

При этом возрастает продольное сопротивление со стороны сил трения, вследствие чего продольная деформация (вытяжка) уменьшается, а поперечная деформация соответственно увеличивается.

В более общем виде можно сказать, что соотношение между продольной и поперечной деформациями определяется соотношением между горизонтальными, продольными и поперечным напряжениями, зависящими от размеров зоны (очага) деформации. В связи с этим на поперечную деформацию влияет не только длина зоны (очага) деформации, но и ее ширина (или ширина полосы). С увеличением ширины полосы растет поперечное напряжение и вследствие этого $\frac{B_2}{B_1}$ уменьшается, а $\frac{L_2}{L_1}$ соответственно увеличивается. Например, при тонколистовой прокатке ширина зоны (очага) деформации во много раз больше ее длины, поэтому поперечная деформация $\frac{B_2}{B_1}$ в этих случаях настолько мала, что часто ее даже не учитывают.

Напряжения, действующие по различным осям, зависят не только от размеров зоны (очага) деформации, но и от коэффициента трения $f$. В обычных условиях прокатки с увеличением $f$ и при прочих равных условиях (в частности, при $\frac{H}{h} = \text{const}$) увеличивается $\frac{B_2}{B_1}$ и соответственно уменьшается $\frac{L_2}{L_1}$.

В формулах (95) и (96) не учтена зависимость уширения ни от коэффициента трения, ни от ширины полосы. В формулах советских исследователей (С. И. Губкин, И. Я. Тарновский, Б. П. Бахтинов) учитывается зависимость уширения от $f$, а в формуле И. Я. Тарновского учитывается также зависимость уширения от ширины полосы.

В заключение рассмотрим зависимость уширения от обжатия полосы. С увеличением $\frac{H}{h}$ одновременно возрастают как $\frac{B_2}{B_1}$ так и $\frac{L_2}{L_1}$, но опытные данные показывают, что обычно $\frac{L_2}{L_1}$ растет относительно быстрее, чем $\frac{B_2}{B_1}$. Что касается абсолютного уширения $B_2 - B_1$, то оно возрастает с увеличением абсолютного обжатия $H - h$.

## 26. Прокатка в ручьевых валках

Прокатка в ручьевых валках имеет широкое распространение. При ручьевой прокатке обжатие полосы по ширине неодинаково (за исключением ящичных или прямоугольных калибров), поперечная деформация является сложной, различной по характеру и величине в разных частях профиля, и точно подсчитывать ее по обычным формулам невозможно. Общие закономерности поперечной деформации в этом случае были рассмотрены нами ранее (п. 7, стр. 57).

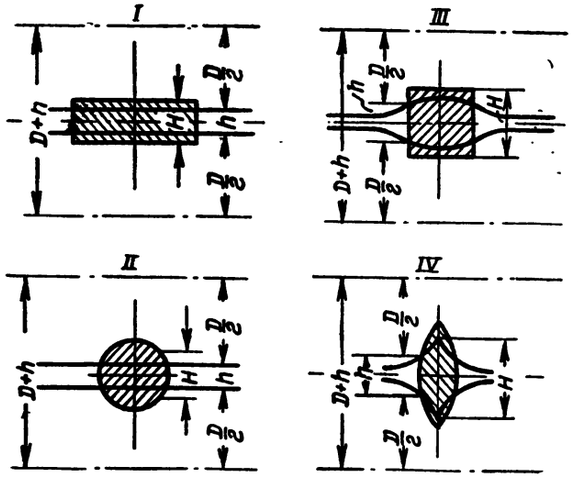



Рис. 74. Основные схемы процесса прокатки, симметричные относительно вертикальной и горизонтальной осей

И. М. Павлов предложил [4] следующую классификацию различных случаев прокатки с неравномерной деформацией (рис. 74) в сопоставлении с прокаткой прямоугольной полосы в валках с гладкой бочкой (табл. 2).



*Таблица 2*

**Типовые схемы прокатки**

| Схема | Постоянные величины | | | | | | Переменные величины | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | $\mu$ | $D+h$ | $D$ | $h$ | $H$ | $\alpha$ | — | — | — | — | — |
| II | $\mu$ | $D+h$ | $D$ | $h$ | — | — | $H$ | $\alpha$ | — | — | — |
| III | $\mu$ | $D+h$ | $H$ | — | — | — | $D$ | $h$ | $\alpha$ | — | — |
| IV | $\mu$ | $D+h$ | — | — | — | — | $H$ | $D$ | $h$ | $\alpha$ | |

Процесс прокатки, идущий по схеме I, характеризуется постоянством по ширине полосы таких основных величин, как $\mu$, $D+h$, $D$, $h$, $H$ и $\alpha$.

Схема II относится к случаям прокатки в валках с гладкой бочкой, симметричной по ширине и высоте заготовки, имеющей переменную толщину $H$. Непостоянство величины $H$ обусловливает непостоянство угла захвата $\alpha$.

Схема III соответствует прокатке заготовки постоянной толщины $H$ в симметричном (по ширине и высоте) калибре. В данном случае уже три из рассматриваемых величины являются переменными по ширине полосы: $D$, $H$ и $\alpha$. Непостоянство рабочего диаметра валков $D$ резко отличает схему III от схемы II, оно влечет за собой и непостоянство окружной скорости валков $v$ по ширине калибра.

Схема IV объединяет схемы II и III, т. е. охватывает случаи прокатки в калибре заготовки переменной толщины (при симметрии по ширине и высоте). Здесь переменными являются уже четыре величины: $H$, $D$, $h$ и $\alpha$.

Имеются и более сложные условия прокатки, когда процесс является асимметричным относительно вертикальной и горизонтальной осей (раздельно или одновременно). Дополнительные усложнения вносят также косое расположение калибра, причем диаметры обоих валков изменяются (взаимно, в обратном порядке) по ширине полосы.

Во всех вошедших в классификацию типовых схемах сохраняется постоянство вытяжки $\mu$ по ширине полосы.

Особое значение данный вопрос приобретает при анализе процесса, идущего по схемам II, III и IV, где вследствие непостоянства угла захвата $\alpha$ по ширине полосы граница поверхности контакта со стороны входа не является прямолинейной.

Имеются все основания считать, что части полосы, еще не вошедшие в соприкосновение с валками, но неразрывно связанные с соседними уже обжимаемыми частями, подчиняются общей вытяжке полосы. Участки, в которых расположены такие части полосы, именуют внеконтактной областью деформации. Принудительная вытяжка металла во внеконтактной области, происходящая благодаря выравнивающему действию внешних частей поло-

сы и наличию внутриметаллических связей, сопровождается как вынужденной высотной утяжкой (т. е. обжатием металла до его соприкосновения с валками), так и вынужденной поперечной утяжкой.

Благодаря главным образом трудам советских ученых, теория прокатки прямоугольной полосы в валках с прямой бочкой получила заметное развитие; теория же прокатки с неравномерным обжатием, главным образом прокатки в калиброванных валках, находится еще в начальной стадии разработки.

## 27. Усилия при прокатке

Определение общего давления полосы на валки (или, что то же, валков на полосу) производится по методу, описанному выше (§ 9).

Переходя к вопросу о распределении давления по поверхности контакта, остановимся на выводах А. И. Целикова [5].

На расстоянии $X$ от плоскости выхода полосы из валков выделим элемент длиною $dx$ (направления осей координат и все обозначения показаны на рис. 75). Предполагая, что уширение отсутствует, достаточно иметь в виду

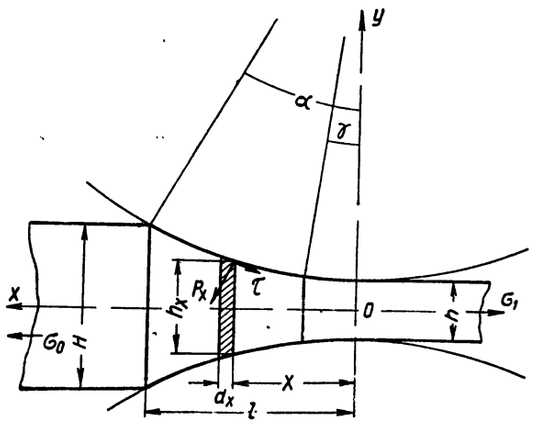



Рис. 75. Схема к выводу уравнений для $P_x$

единицу ширины полосы. Написав для выделенного элемента уравнение равновесия и уравнение пластичности и решив эти уравнения совместно, получим уравнение для $P_x$ (давление в точке, находящейся на расстоянии $X$ от плоскости выхода, или в точке, которой соответствует толщина $h_x$ в зоне деформации).

Так как силы трения в зонах отставания и опережения имеют различные направления, то решение указанных выше двух уравнений производится отдельно для каждой зоны.



Заменяя дугу касания полосы с валком хордой и полагая, что $\tau = f\sigma$, А. И. Целиков получил следующие формулы.

Для зоны отставания:

$$P_x = \frac{K}{\delta}\left[\left(\frac{H}{h_x}\right)^{\delta}(\xi_0\delta - 1) + 1\right]. \qquad (97)$$

Для зоны опережения:

$$P_x = \frac{k}{\delta}\left[\left(\frac{h_x}{h}\right)^{\delta}(\xi_1\delta + 1) - 1\right]. \qquad (98)$$

В этих формулах:

$$k = 1{,}15\,\sigma_T;$$

$$\delta = 2f\frac{l}{H - h}, \qquad (99)$$

где $l$ — длина зоны (очага) деформации.

Величины $\xi_0$ и $\xi_1$ учитывают влияние заднего и переднего натяжения на $P_x$, причем:

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{k}; \qquad (100)$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{k}, \qquad (101)$$

где $\sigma_0$ и $\sigma_1$ — удельные заднее и переднее натяжения.

При отсутствии заднего и переднего натяжений $\xi_0 = \xi_1 = 1$ и формулы (97) и (98) принимают следующий вид:

для зоны отставания

$$P_x = \frac{k}{\delta}\left[\left(\frac{H}{h_x}\right)^{\delta}(\delta - 1) + 1\right]; \qquad (102)$$

для зоны опережения

$$P_x = \frac{k}{\delta}\left[\left(\frac{h_x}{h}\right)^{\delta}(\delta + 1) - 1\right]. \qquad (103)$$

По этим формулам А. И. Целиков построил эпюры распределения удельного давления по дуге захвата (рис. 76). Из рис. 76, *а* видно, что с увеличением $f$ возрастает давление при прокатке, причем эта зависимость выступает тем резче, чем меньше толщина полосы при данном диаметре валков. Из рис. 76, *б* видна зависимость давления при прокатке от относительного обжатия, а из рис. 76, *в* от отношения $\frac{D}{h}$. Чем больше $D$ и меньше $h$, тем больше давление при прокатке. Применение переднего и особенно заднего натяжения значительно уменьшает давление на валки при прокатке (рис. 76, *г*). Полное давление полосы на валки можно получить из следующего уравнения:

$$P = \frac{B_1 + B_2}{2}\int_0^l p_x dx.$$

Выразив $dx$ через $dh_x$ и производя интегрирование отдельно для зон отставания и опережения, при отсутствии переднего и заднего натяжения по-

лучим выражение для $P$. Среднее давление $p$ получается от деления $P$ на площадь соприкосновения полосы с валком:

$$p = k\frac{2h}{(H-h)(\delta-1)}\left(\frac{H_\gamma}{h}\right)\left[\left(\frac{H_\gamma}{h}\right)^{\delta}-1\right], \qquad (104)$$

где $H_\gamma$ — толщина полосы в критическом сечении.

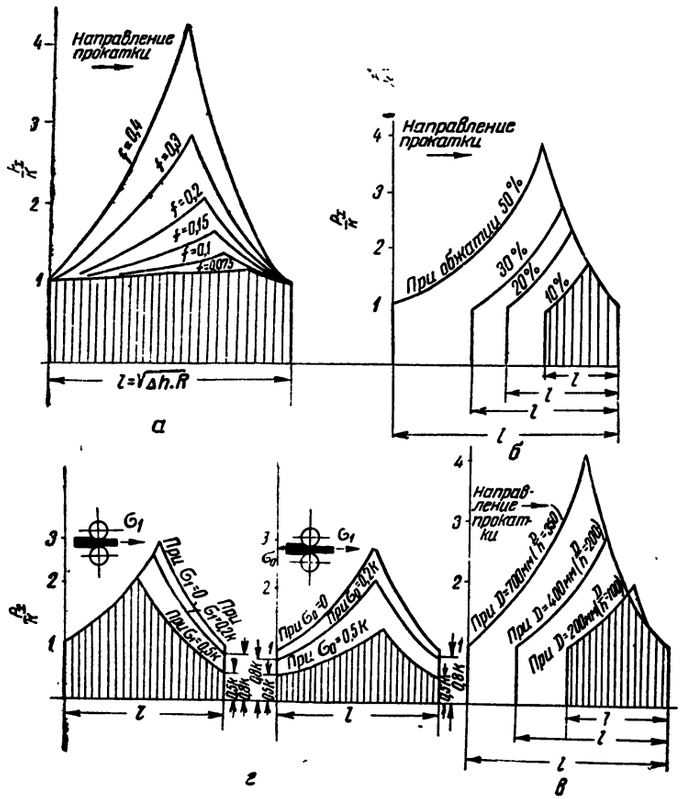



Рис. 76. Эпюры распределения удельного давления по дуге захвата в зависимости от различных факторов [5]

Отношение $\frac{H_\gamma}{h}$ определяется из условия, что в критическом сечении $P_x$ по формулам (102) и (103) одинаковы. В результате получим:

$$\left(\frac{H_\gamma}{h}\right)^{\delta} = \frac{1+\sqrt{1+(\delta^2-1)\left(\frac{H}{h}\right)^{\delta}}}{\delta+1}. \qquad (105)$$



На рис. 77 представлена диаграмма А. И. Целикова для среднего (удельного) давления $p$.

Определение полного давления $P$, исходя из среднего давления $p$ и определение сил $P_z$ и $P_x$, уже было рассмотрено нами ранее (п. 14).

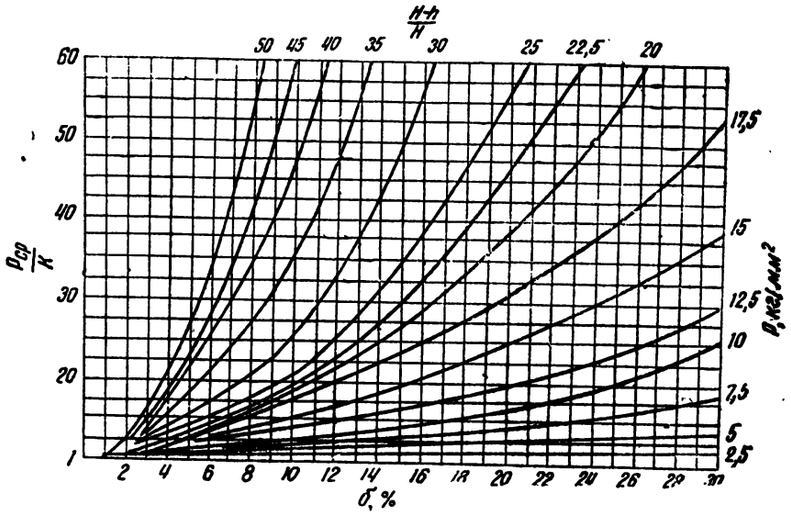



Рис. 77. Среднее удельное давление в зависимости от внешнего трения (от коэффициента δ) при обжатиях от 2,5 до 50% [5]

Впервые идея опытного определения напряжений, действующих по поверхностям контакта, была высказана русским ученым Родзевич-Белевичем в 1913 г., предложившим проделать цилиндрическое отверстие (малого диаметра) в валке, выходящее на его поверхность от внутренней осевой полости, сообщающейся с манометром. В отверстии имеется пришлифованный поршень, воспринимающий местное давление металла и передающий его к манометру через жидкость. Предложение Родзевич-Белевича им осуществлено не было.

В настоящее время по количеству и качеству исследований распределения давления при прокатке советским ученым принадлежит первое место. Одно из последних исследований давления при прокатке прямоугольных полос в валках с гладкой бочкой, квадратной заготовки в овальном калибре и фасонной заготовки в балочном фасонном калибре (двутавровая балка) было произведено В. П. Северденко [28], использовавшим емкостные электрические датчики с записью результатов на осциллографе.

## 28. Работа прокатки

Ранее нами была рассмотрена логарифмическая формула работы применительно к сжатию тела между параллельными плоскими плитами, использование этой формулы в иных условиях требует специального обсуждения.

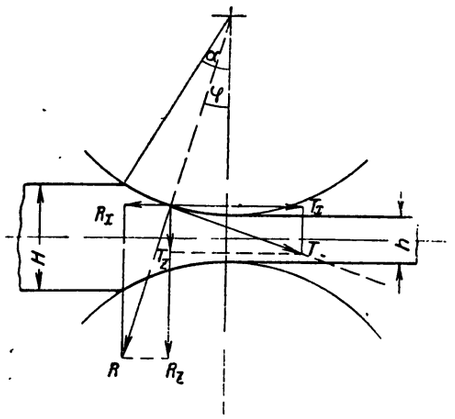



Рис. 78. Схема к вопросу о применимости логарифмической формулы работы к процессу прокатки

В процессе прокатки (рис. 78) радиальная сила $R$ работы не производит, как перпендикулярная скорости $v$.

Но тогда равна нулю и суммарная работа двух составляющих этой силы: $R_x$ и $R_z$:

$$A_{R_x} + A_{R_z} = 0,$$

откуда

$$A_{R_x} = -A_{R_z}.$$

Распространяя вывод логарифмической формулы на данный процесс, мы рассматриваем работу осаживания элементарного столбика металла (рис. 78) как раз силой $R_z$ и, следовательно, определяем работу именно данной силы. Но с обратным знаком она равна работе горизонтальной силы $R_x$. Для рассматриваемого случая, когда опережение отсутствует, $R_x = T_x$, что указывает на равенство работ обеих сил (но с обратным знаком). Таким образом:

$$A_{R_z} = -A_{R_x} = A_{T_x}. \qquad (106)$$

В действительности работа прокатки определяется касательными силами трения, направление которых совпадает с окружной скоростью $v$. Поскольку этими же силами определяется и крутящий момент прокатки, причем между крутящим моментом и работой прокатки имеется очень простая связь, соответствующая формула работы именуется формулой работы прокатки по крутящему моменту.

Работа силы $T_x$ меньше работы трения касательных сил (на величину работы вертикальной силы $T_z$), и, таким образом, логарифмическая формула дает несколько заниженный результат.



Мы видим, что вывод логарифмической формулы в условиях процесса прокатки относится лишь к силе $R_z$, работа которой только косвенным образом может быть приравнена к работе горизонтальной силы $T$, сопоставимой в свою очередь с работой прокатки, совершаемой касательными силами трения.

Определяя работу этих касательных сил с учетом опережения, будем иметь (для единицы ширины и для точного выражения $f = \operatorname{tg}\beta$):

$$T_{\text{I}} - T_{\text{II}} = pR(\alpha - \gamma)\operatorname{tg}\beta - pR\gamma\operatorname{tg}\beta = pR\operatorname{tg}\beta(\alpha - 2\gamma)$$

или, переходя к мощности,

$$N = (T_{\text{I}} - T_{\text{II}})v = pR\operatorname{tg}\beta v(\alpha - 2\gamma),$$

что для двух валков дает

$$N = pD\operatorname{tg}\beta v(\alpha - 2\gamma). \qquad (107)$$

И. М. Павловым было предложено приведение этой формулы к случаю отсутствия опережения, что не изменяет численного результата. В этом случае $\gamma = 0$ и $\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$, что дает (вводя ширину полосы $B$):

$$N = pBD\alpha v\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} \qquad (108)$$

и соответственно крутящий момент (для двух валков):

$$M = N\frac{r}{v} = pBD\alpha r\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = 2pB\alpha r^2\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}.$$

Мы рассмотрели вопросы работы деформации, не касаясь работы, затрачиваемой на преодоление вредных сопротивлений в частях прокатного стана; не затрагивались также способы определения работы и мощности по практическим показателям. То и другое относится к специальному курсу прокатного производства.

## 29. Поперечная и косая прокатка

Процесс прокатки, рассмотренный выше, именуется обычно продольной прокаткой, и ему соответствует схема, показанная на рис. 79, *I*.

Поворачивая верхний валок, получаем схему косой прокатки (рис. 79, *II*) и схему поперечной прокатки (рис. 79, *III*).

Как видно из этих схем, в очаге деформации валки движутся в разные стороны; задавая в валки круглую заготовку плашмя, можно при достаточном контакте заставить заготовку вращаться. Продвигая ее тем или иным способом вперед, можно получить обжатие заготовки по диаметру и осевую ее вытяжку, направлен-

ную вдоль бочки валков (рис. 80). Условия напряженного состояния в этом случае неблагоприятны для вытяжки, так как, деформируясь в длину, металл продвигается по неподвижной (относительно данной оси) поверхности обоих валков. Особенность данного процесса состоит в непрерывной смене условий напряженного состояния металла в разных зонах заготовки благодаря вращению обрабатываемого тела: в вертикальной плоскости заготовка подвергается обжатию, а в горизонтальной происходит ее расплющивание, благодаря чему поперечное сечение приобретает яйцевидную форму. Подвергаясь попеременному воздействию тех и других условий, металл теряет свою целость в осевой части заготовки, причем образуется продольная осевая полость. Такое явление позволяет использовать данный процесс для производства продукта трубчатой формы из сплошной заготовки. Еще сравнительно недавно образование полости связывали с действием касательных напряжений, предполагая, что верхняя и нижняя части расплющенной яйцевидной заготовки при вращении смещаются одна относительно другой со сдвигом и с нарушением связи между центральными слоями.

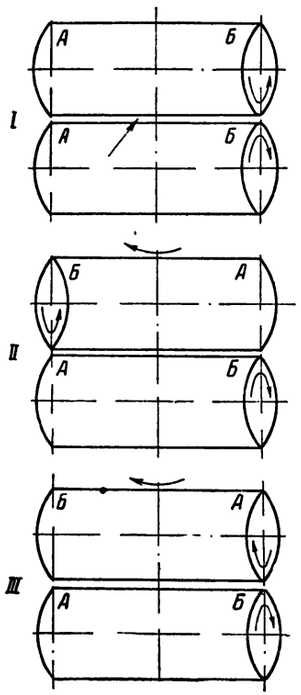



Рис. 79. Схема перехода от продольной прокатки *I* к косой *II* и поперечной *III*

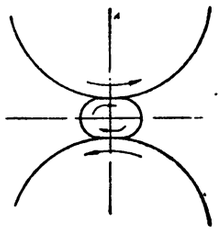


Рис. 80. Схема поперечной прокатки

Поставленные в СССР исследования показали, что напряженное состояние в центральных частях заготовки является более сложным и сопровождается растягивающими напряжениями,



действие которых и имеет основное значение при образовании полости.

Поперечная прокатка применяется в ряде специальных производств, причем продвижение заготовки сквозь зев валков осуществляется толкающим устройством или за счет некоторой разности окружных скоростей валков. Очень подходящим данный процесс мог бы явиться для производства изделий сплошного круглого сечения, переменного по их длине, однако некоторым препятствием для осуществления такого вида прокатки является опасность получения полости внутри изделий.

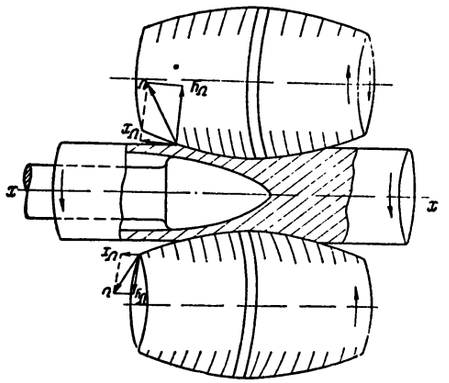



Рис. 81. Схема действия валков и оправки на заготовку при косой прокатке

Близким к поперечной прокатке является процесс косой прокатки, широко применяемый в производстве труб. При косой прокатке оси валков располагаются не параллельно, а под некоторым углом к средней линии. Заготовка, кроме вращения под влиянием составляющих $v_y$ окружной скорости валков, продвигается в осевом направлении, что обусловлено составляющей $v_x$ окружной скорости, направленной вдоль оси заготовки (рис. 81). Явление образования полости сохраняется и при косой прокатке, что и используется для производства трубной полой заготовки (гильз) из сплошных слитков или из сплошной заготовки (процесс косой прокатки часто именуется процессом прошивки, а соответствующие станы называют прошивными).

Важным условием осуществления процесса прошивки является применение оправки. Считалось, что назначение оправки заключается в улучшении поверхности уже образовавшейся рваной полости и в раздаче ее с утонением стенки гильзы. Однако мелкие разрывы и трещины, сопутствующие свободному образованию полости, дают пленистость внутренней поверхности труб.

В настоящее время не доводят металл до разрушения ранее встречи с пробкой, для чего оправку располагают настолько глубоко, что носик пробки сам производит прошивку металла, который по степени напряженности находится почти на грани разрушения.

Сами валки прошивных станов делают бочкообразными с входным конусом и с конусом раскатки со стороны выхода (рис. 81).

Во входном конусе заготовка захватывается валками и по мере продвижения в продольном направлении (ось $x-x$) с одновременным вращением обжимается и несколько скручивается. При этом в соответствии с уменьшением поперечного сечения происходит вытяжка заготовки.

В конусе раскатки, в зазоре между валками и пробкой оправки, металл обжимается еще более интенсивно, что сопровождается утонением стенки получаемой гильзы, раздачей ее по диаметру и вытяжкой по оси $x-x$.

Косая прокатка может осуществляться не только в бочкообразных валках, но и в дисковых и в грибовидных валках, причем сущность процесса во всех этих случаях остается общей.

Теория косой и поперечной прокатки получила большое развитие в трудах советских ученых.

## *Глава VII*

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЛОЧЕНИЯ И ПРЕССОВАНИЯ ЧЕРЕЗ ОЧКО

### 30. Процесс волочения

Волочение применяется для получения из черных и цветных металлов проволоки, прутков, труб круглой, квадратной, прямоугольной и шестигранной формы, фасонных профилей и т. п. (рис. 82).

Волочением возможно получать изделия весьма малых размеров поперечного сечения, одинаковых по всей длине, с узкими допусками и с повышенной прочностью и твердостью.

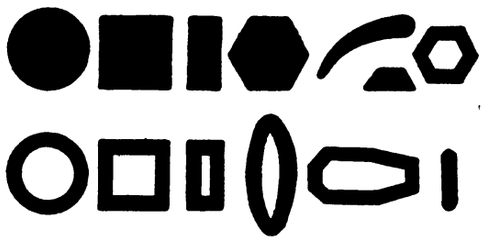


Рис. 82. Сечения некоторых видов фасонных прутков и труб

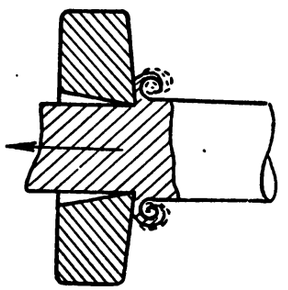


Рис. 83. Строжка пленистых прутков

В некоторых случаях на волочильных станках производят стружку прутков и труб из цветных металлов с целью удаления с их поверхности плен, неглубоких трещин и других дефектов (рис. 83).

Недостатками волочения являются: 1) ограниченность деформации за одну протяжку и 2) большой расход энергии на преодоление трения, возникающего между металлом и стенками очка.



Преимущества волочения возрастают при отнесении этого процесса к завершительным стадиям производства, что и обусловило широкое применение волочения в народном хозяйстве СССР для обработки заготовки относительно малого сечения (катанки, труб) уже после ее получения другими способами.

Сила $P$, приложенная к переднему концу протягиваемого прутка, называется усилием волочения (см. рис. 50), усилие волочения, отнесенное к 1 *мм*² поперечного сечения прутка после его выхода из волочильного очка, называется напряжением волочения.

Необходимым условием процесса волочения является требование, чтобы напряжение волочения было меньше предела упругости $\sigma_{уп}$ материала прутка при выходе его из волочильного очка. В противном случае выходящий из очка пруток будет утрачивать размеры, полученные в очке.

Определим наибольшую силу тяги $P$ при волочении и свяжем ее с сопротивляющимися силами.

Условия службы выходящего конца обусловливают необходимость соотношения

$$P < \omega_2 \sigma_{уп}. \tag{109}$$

Сила тяги $P$ затрачивается на деформацию металла, на преодоление трения в очке и сопротивлений, имеющихся перед входом в очко.

Силу, необходимую для деформации металла, можно выразить через $p$ $(\omega_1 - \omega_2)$. Сумму дополнительных сопротивлений обозначим через $T$.

Имеем

$$P = \omega_2 \sigma_{уп} = (\omega_1 - \omega_2)\, p + T,$$

откуда

$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_2} = \frac{\sigma_{уп}}{p} - \frac{T}{p\,\omega_2} \tag{110}$$

или

$$\mu = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_2} + 1 = \frac{\sigma_{уп}}{p} - \frac{T}{p\,\omega_2} + 1. \tag{111}$$

Данное соотношение подтверждает, что возможная деформация (вытяжка) металла при волочении ограничена стойкостью выходящего конца, причем мерой является предел упругости металла (после его выхода из очка).

Для повышения возможной вытяжки металла $\mu$ при волочении необходимо увеличивать отношение $\frac{\sigma_{уп}}{p}$ и уменьшить вредные сопротивления $\frac{T}{p\omega_2}$. Последнее достигается применением рациональной смазки.

Увеличение $\frac{\sigma_{уп}}{p}$ отвечает облегчению деформации металла в самом волочильном очке (падение $p$) и увеличению жесткости металла после выхода из очка (увеличение $\sigma_{у1}$). Одним из решений этой проблемы является процесс горячего волочения, когда нагрев металла перед входом в очко дает снижение величины $p$, а резкое охлаждение металла при выходе из очка обеспечивает повышение величины $\sigma_{уп}$.

При волочении прутков, труб и проволоки имеет место растяжение по одной (продольной) оси и сжатие по двум другим осям (высотной и поперечной), причем растягивающее главное напряжение вызывается активным тяговым усилием на цепи или барабане волочильного стана, а два главных сжимающих напряжения вызываются реактивным сжимающим действием конуса волоки. При этом центральные слои воспринимают продольные деформации, а остальные слои испытывают еще дополнительные деформации сдвига и изгиба, причем в поверхностных слоях развиваются остаточные растягивающие напряжения, а в центральных слоях — сжимающие напряжения.

Неравномерная деформация обусловливает также некоторую неоднородность строения металла по сечению и неравномерность механических свойств.

## 31. Усилие и некоторые другие условия волочения

На усилие волочения оказывают влияние: 1) химический состав, свойства и температура протягиваемого металла, 2) материал, форма и состояние поверхности очка волочильного инструмента, 3) трение на поверхности контакта, 4) величина и скорость деформации.

Химический состав влияет как на величину $p$ *кг/мм*$^2$, так и на $\sigma_{уп}$ (материала выходящего конца прутка), благодаря чему оказывает сильное воздействие на условия волочения. Вообще говоря, условия волочения тем более благоприятны, чем интенсивнее упрочнение металла или чем больше различие между жесткостью входящего и выходящего концов прутка.

Материал волочильного инструмента также оказывает влияние на усилие волочения, что связано главным образом с различием в коэффициентах трения. При волочении в стальных волоках усилие волочения больше, чем в волоках из твердых сплавов, а при волочении в алмазных волоках оно значительно меньше, чем при волочении в волоках из твердых сплавов.

Форма очка волочильного инструмента также влияет на усилие волочения и на износ очка, что заставляет изыскивать наиболее рациональные угол конусности, ширину цилиндрического пояска и пр. На усилие волочения действует также состояние поверхности очка (полировка) и поверхности обрабатываемого металла.



С увеличением степени деформации усилие волочения, естественно, увеличивается.

Усилие волочения практически не зависит от скорости, при которой происходит волочение; не оказывает заметного влияния скорость волочения и на механические свойства холоднотянутого металла.

Для уменьшения коэффициента трения между стенками волочильного канала и протягиваемым прутком применяется смазка и, кроме того, различные предварительные покрытия и обмазки поверхности обрабатываемого тела.

С. И. Губкин [3] рекомендует для определения напряжения при волочении с учетом всех потерь следующую формулу:

$$P = \sigma_т \left\{ \frac{fMl}{\omega_2} \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^a + \frac{b}{a} \left[ 1 - \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^a \right] + \frac{4}{3\sqrt{3}} \left( \operatorname{tg} \alpha + \frac{f}{2} \right) \right\}, \quad (112)$$

где $\omega_1$ и $\omega_2$ — площади поперечного сечения до и после волочения;
$l$ — длина цилиндрической части очка;
$M$ — периметр профиля;

$$a = \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha \cos \frac{\alpha}{2}} - 1; \quad (113)$$

$$b = \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (114)$$

где $\alpha$ — угол наклона образующей поверхности обжимающей части канала к его оси;
$f$ — коэффициент трения, который для различных металлов и сплавов в зависимости от качества смазки и состояния деформирующего инструмента при холодной деформации лежит в пределах 0,04—0,12.

Советскими исследователями изучен метод волочения с противонатяжением, снижающим давление на стенки волоки и значительно увеличивающим стойкость волоки.

В настоящее время волочение производится главным образом в холодном состоянии с развитием наклепа металла (на рис. 84 показано изменение механических свойств стали, вызванное холодным волочением).

Частные обжатия за одну протяжку колеблются в пределах 25—35%, оптимальные суммарные обжатия между отжигами составляют 75—85%.

Последовательный ряд размеров поперечных сечений, которые сообщаются металлу при волочении, называется маршрутом волочения. Правильно составленный маршрут волочения должен

обеспечивать: 1) минимальное количество протяжек, 2) отсутствие обрывов при протяжке, 3) точность размеров и 4) соответствие маршрута конструкции волочильного стана.

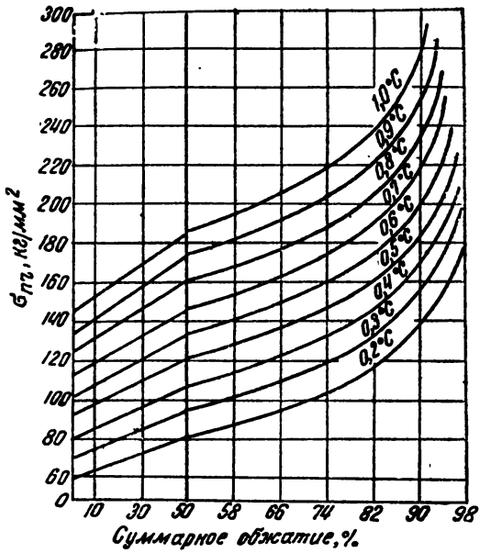



Рис. 84. Изменение предела прочности стальной проволоки в зависимости от степени холодной деформации

## 32. Характеристика и методы прессования через очко

Выдавливание мягких металлов — свинца и олова — известно с XVII—XVIII столетия, однако этот способ получения прутков, труб и профилей из других цветных металлов начал широко внедряться в промышленность в конце прошлого столетия. Позднее начали прессовать стальные изделия, а прессование изделий из нержавеющей и хромистой стали и некоторых никелевых сплавов было освоено только за последние 10—15 лет.

Впервые условия течения материала при прессовании были изучены русскими учеными Н. С. Курнаковым и С. Ф. Жемчужным еще в 1913 г. в связи с разработкой основ физико-химического анализа.

В дальнейшем значительный вклад в дело изучения процесса прессования внесли С. И. Губкин, П. С. Истомин, И. М. Павлов и ряд других исследователей.

Получение изделий путем прессования имеет большое производственное значение, преимущественно, однако, для цветных металлов и сплавов. Этим способом получают проволоку, прутки диаметром от нескольких миллиметров до 360—400 *мм*, трубы с внешним диаметром до 350—400 *мм* при толщине стенок 1,5—8 *мм* и ряд сложных профилей.

При прессовании действует резко выраженное трехосное сжатие, и поэтому путем прессования можно обрабатывать многие труднодеформируемые сплавы, не выдерживающие деформации при прокатке и волочении.



Прессованием получают весьма точные по размерам и разнообразные по профилю изделия в одну операцию с очень большой деформацией (вытяжкой).

Процесс прессования может быть прямым и обратным.

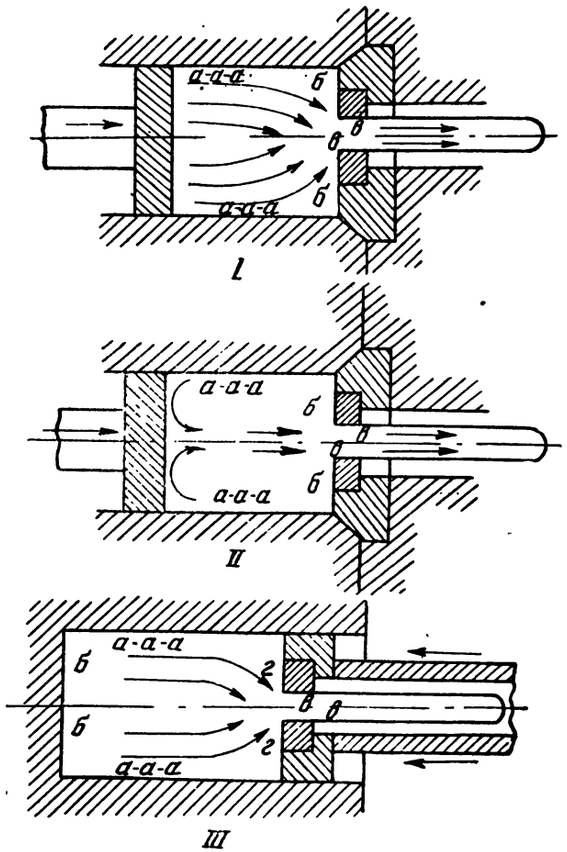



Рис. 85. Процесс прессования через очко

При прессовании прямым методом обрабатываемый металл помещают в цилиндрический приемник, с одной стороны которого укрепляется матрица, имеющая отверстие, соответствующее сечению прессуемого изделия, а, с другой стороны, в приемник входит пуансон с прессшайбой на конце (рис. 85 I и II).

Под влиянием давления прессшайбы металл выдавливается через очко (матрицу), причем естественно предположить, что движение металла внутри цилиндра происходит так, как показано на рис. 85, *I*, т. е. прямым путем. Опытное изучение процесса показывает, однако, что такое простейшее движение наблюдается только при малых сопротивлениях трения на поверхностях контакта металла и инструмента и при малой вытяжке; оно характерно также для некоторых металлов (красная медь), у которых коэффициент трения меньше, чем у других металлов.

Трение в данном случае преодолевается по всей внутренней рабочей поверхности приемника *а—а—а*, внутренней поверхности матрицы *б* и поверхности выходного очка *в*.

При уменьшении сечения выходного очка, т. е. увеличения вытяжки, трение и суммарное сопротивление движению металла будут возрастать. После увеличения внешнего трения до известного предела движение металла начнет идти иным образом, с исключением смещения металла по поверхностям контакта *а—а—а*, *б—б* и с образованием новых внутренних поверхностей раздела, трение по которым оказывается меньшим, чем по внешним поверхностям контакта.

Можно привести сравнение с движением песка в песочных часах: песок остается в контакте со стеклянными стенками сосуда, заворачивается внутрь и опускается вниз центральной струей, образуя воронку.

При используемых в практических случаях весьма значительных вытяжках (обычно не ниже $\mu = 12$ для однократного прессования) движение металла внутри цилиндра чаще происходит с «завоpотом» (рис. 85, *II*), причем поверхности *б — б* матрицы являются упорами и скольжение по ним, как и по поверхностям *а—а—а*, отсутствует.

Если движение металла идет без заворота, то поверхностный окисленный и загрязненный слой слитка попадает на поверхность прутка и не ухудшает внутренних частей изделия. При «завороте» поверхностный слой слитка устремляется в воронку и оттуда в осевую часть прутка, образуя утяжку. Эти явления имеют большое практическое значение и заставляют применять особые приемы работы: прессование с рубашкой, т. е. со срезанием поверхностного слоя благодаря наличию кольцевого зазора между прессшайбой и приемником; оставление недопрессованного пресс-остатка в цилиндре и др.

На рис. 86 показана схема прессования труб по прямому методу. После прессования в приемнике остается невыдавленный металл, так называемый прессостаток.

Большой интерес представляет более новый обращенный, или обратный, способ прессования, при котором выходное очко располагается в самой прессшайбе (см. рис. 85, *III*), причем исключается смещение металла по поверхностям *а—а—а* и *б—б* и происходит смещение лишь по поверхности *г—г* и *в—в* без заворота.



Несмотря на преимущества обратного метода, он получил ограниченное распространение из-за сложности конструкции пресса.

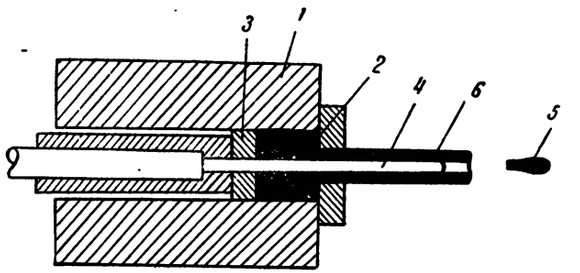



Рис. 86. Схема прессования трубы:
*1* — приемник; *2* — слиток; *3* — пресс-шайба; *4* — игла; *5* — выпрессовка; *6* — труба

## 33. Усилия, необходимые для прессования через очко

На величину усилия, необходимого для прессования через очко, оказывают влияние: 1) температура прессования, 2) степень деформации, 3) длина слитка, 4) скорость прессования, 5) величина профиля и форма сечения очка матрицы, 6) состояние поверхности приемника и матрицы и др. Чем выше температура, меньше степень деформации, скорость деформации и длина слитка, тем меньше необходимое для прессования усилие. Скорость прессования оказывает небольшое влияние на усилие прессования.

Наибольшее усилие требуется при прессовании через матрицы с цилиндрическим профилем очка и наименьшее — с конусным, причем угол конусности очка матрицы $\alpha$ делают не больше 25—30°.

Чем чище обработаны поверхности приемника и матрицы, тем меньше требуется усилие при прессовании.

При прошивке слитков иглой на усилие прессования оказывает влияние форма конца иглы и состояние поверхности ее. Наименьшее усилие требуется при применении иглы со слегка закругленным концом.

Усилие прессования можно определить по формуле:

$$A = nc\,\sigma_{\text{пч}}\,\omega_1 \lg \frac{\omega_1}{\omega_2}, \qquad (115)$$

где $c$ — коэффициент, учитывающий влияние трения и неравномерность распределения напряжений в заготовке, причем

при прессовании сплошных профилей $c = 4$, гладкостенных труб $c = 5$—$6$ и ребристых труб $c = 7$;

$\sigma_{пч}$ — предел прочности при растяжении в области температур прессования;

$n = 1 + 0{,}03\frac{H}{D}$ — коэффициент, учитывающий влияние трения металла о стенки приемника, когда высота заготовки больше диаметра приемника;

$D$ — диаметр приемника;

$H$ — высота заготовки;

$\omega_1$ — площадь поперечного сечения заготовки;

$\omega_2$ — площадь поперечного сечения прессуемого изделия.

ЧАСТЬ II

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЦЕХОВ ПО ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

*Глава VIII*

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

## 34. Требования, предъявляемые к прокатному оборудованию

Прокатный стан является сложным комплексом различных машин и механизмов. Современное отечественное тяжелое машиностроение и электромашиностроение располагают всеми возможностями для производства самых разнообразных сложных и крупных машин, необходимых в прокатном производстве.

Основные требования, предъявляемые к оборудованию современных прокатных цехов:

1) обеспечение высокой производительности и высокого качества продукта обработки (точность размеров и чистота поверхности проката);

2) механизация и автоматизация процесса прокатки и всех вспомогательных операций;

3) обеспечение требуемой последовательности и режима технологического процесса;

4) надежность в эксплуатации, быстрота и дешевизна ремонтов.

Оборудование прокатных цехов выбирается в зависимости от сортамента проката, требуемой производительности и принятого технологического процесса.

## 35. Классификация прокатных станов по назначению

Согласно этой классификации прокатные станы подразделяются на два основных типа:

1) станы для производства полупродукта в виде заготовок различных размеров и формы, служащих исходным материалом при прокатке различных прокатных изделий;

2) станы для производства готового продукта в виде различных прокатных изделий.

К числу станов для производства полупродукта относятся:

Блюминги и слябинги — крупные заготовочные станы с валками диаметром 800—1400 *мм*, предназначенные для про-

катки слитков в заготовки крупных размеров и различной формы (блумы, слябы, фасонная заготовка), идущие в основном в качестве полупродукта на крупносортные станы для прокатки сортовой стали, на листопрокатные станы для прокатки листовой стали и на заготовочные станы для прокатки заготовок более мелких размеров.

Заготовочные станы с валками диаметром 450—800 *мм*, предназначенные для дальнейшей прокатки крупных заготовок (блумов) в заготовки мелких размеров, идущих в основном в качестве полупродукта на сортовые и проволочные станы для прокатки сортовой стали и проволоки.

К числу станов для производства готового продукта, т. е. различных прокатных изделий, относятся:

Рельсобалочные станы с валками диаметром 750—900 *мм*, предназначенные главным образом для прокатки железнодорожных рельсов, балок высотой от 180 до 600 *мм* и более, швеллеров высотой от 180 до 460 *мм* и других крупных профилей.

Сортовые станы с валками диаметром 250—750 *мм*, предназначенные для прокатки сортовой стали: круглой и квадратной от 8 до 150 *мм*, балок и швеллеров высотой от 50 до 200 *мм*, угловой от 20 × 20 до 200 × 200 *мм* и др. В зависимости от размеров прокатываемой в этих станах сортовой стали они часто делятся на крупносортные с валками диаметром 500 ÷ 750 *мм*, среднесортные с валками диаметром 350 : 500 *мм* и мелкосортные с валками диаметром 250 ÷ 350 *мм*.

Необходимо отметить, что основной величиной, определяющей размер прокатного стана, предназначенного для прокатки сортового металла, является диаметр валков последних клетей.

Проволочные станы с валками диаметром чаще всего 250 *мм*, предназначенные для прокатки проволоки (катанки) диаметром 6—10 *мм*.

Листопрокатные станы для прокатки листовой стали в горячем состоянии толщиной от 0,25 до 60 *мм* и более, с длиной бочки валков от 800 до 5000 *мм*.

Листопрокатные станы для прокатки листовой стали в холодном состоянии толщиной от 0,008 до 4 *мм*, с длиной бочки валков от 300 до 2800 *мм*.

Универсальные станы для прокатки универсальной стали шириной от 200 до 1500 *мм* и для прокатки широкополочных балок.

Трубопрокатные станы для прокатки бесшовных и сварных труб.

Бандаже- и колесопрокатные станы, служащие для прокатки железнодорожных бандажей и колес.

Станы специального назначения, служащие для прокатки прочих прокатных изделий.



## 36. Классификация прокатных станов по расположению рабочих клетей

Согласно этой классификации прокатные станы подразделяются на одноклетьевые и многоклетьевые. Самым простым является одноклетьевой стан, состоящий из расположенных в одну линию рабочей клети, шестеренной клети и двигателя (рис. 87). Эти станы имеют большое распространение и применяются в качестве крупных заготовочных станов — блумингов и слябингов, листопрокатных станов для горячей и холодной прокатки листовой стали, трубопрокатных станов и др.

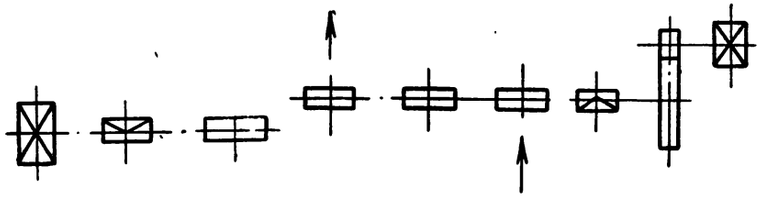


Рис. 87. Одноклетьевой стан



Рис. 88. Стан с расположением нескольких рабочих клетей в одну линию

Однако в большинстве случаев применяются многоклетьевые станы, которые можно подразделить на два основных типа: 1) станы с линейным расположением клетей и 2) станы с последовательным расположением клетей.

Самым простым и дешевым станом с линейным расположением клетей является стан, у которого все рабочие клети расположены в одну линию (рис. 88). Такое расположение рабочих клетей в настоящее время применяется главным образом у рельсобалочных и крупносортных станов.

Один из существенных недостатков этих станов заключается в том, что валки всех клетей имеют одинаковое число оборотов и, следовательно, в этих станах нельзя осуществлять прокатку со скоростью, повышающейся по мере увеличения в процессе прокатки длины полосы.

Это обстоятельство, а также и то, что производительность прокатных станов повышается с увеличением степени дифференциации производственного процесса, заставили в дальнейшем применять прокатные станы с расположением рабочих клетей в несколько линий.

Простейшим видом такого стана является двухклетьевой стан, схема которого изображена на рис. 89. Этот стан состоит из двух рабочих клетей, но расположенных не в одну линию, а последовательно в две линии. На этом стане металл прокатывается сначала в несколько пропусков в первой клети, а затем во второй

клети. Подобного рода станы применяются для прокатки толстых листов.

На рис. 90 изображена схема среднесортного стана 450 *мм* с расположением рабочих клетей также в две линии. Как видно из этой схемы, валки черновой линии имеют больший диаметр, что очень важно для первых пропусков.

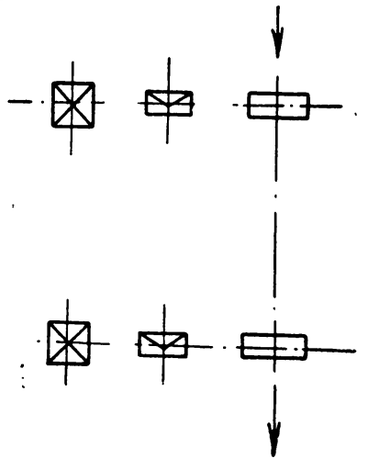


Рис. 89. Двухклетьевой стан с последовательным распо ложением клетей

В дальнейшем, для некоторых случаев прокатки применили еще большую дифференциацию, располагая клети в три, четыре и даже пять линий. Такое расположение применяется для проволочных, мелкосортных, а также для рельсобалочных станов.

На рис. 91 изображена схема проволочного стана с расположением рабочих клетей в четыре линии. Как видно из этой схемы, стан имеет значительно большую дифференциацию скоростей прокатки и диаметров валков, чем стан, изо-

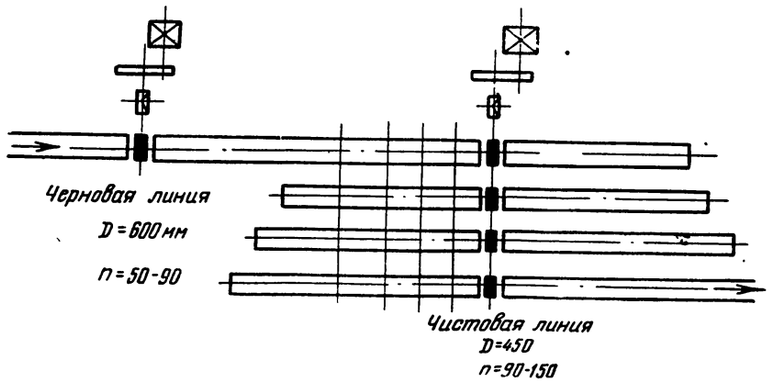



Рис. 90. Стан с расположением рабочих клетей в две линии

браженный на рис. 90. Характерно для этого стана также то, что начиная со второй черновой линии, через каждую клеть полоса пропускается только один раз и находится одновременно в нескольких клетях. Последнее достигается тем, что передний конец полосы задают в следующую клеть, не ожидая выхода всей полосы из предыдущей клети (петлевая прокатка).



Наибольшей степени дифференциации производственного процесса достигают на станах с последовательным расположением

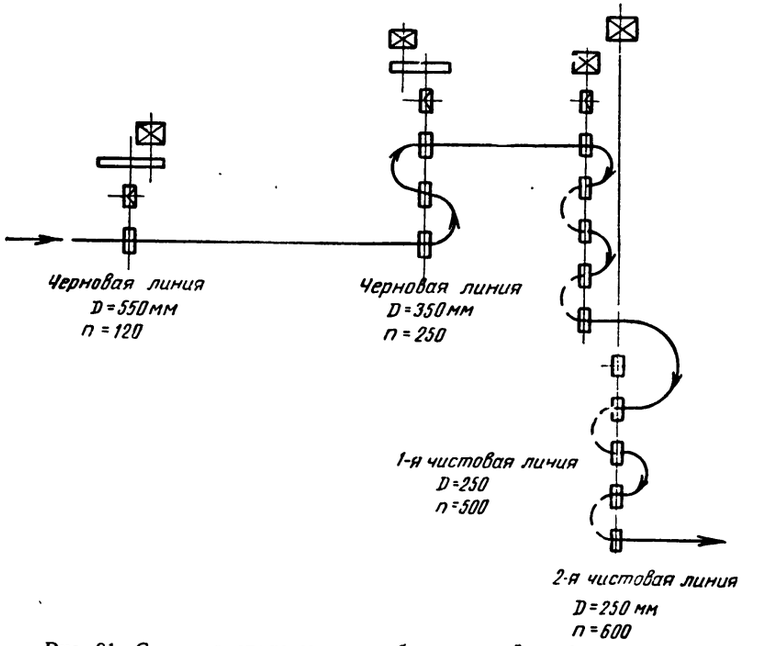



Рис. 91. Стан с расположением рабочих клетей в четыре линии

клетей, в которых полоса через каждую клеть пропускается только один раз, т. е. число рабочих клетей у этих станов берется равным требуемому числу пропусков полосы между валками.

Наиболее совершенными станами этого типа являются непрерывные станы (рис. 92). Рабочие клети у этих станов располагаются последовательно одна за другой. Расстояние между клетями делается обычно меньше длины прокатываемой полосы, и поэтому последняя одновременно прокатывается во всех или нескольких клетях. Диаметр валков и число их оборотов подбираются таким образом, чтобы во всех клетях соблюдалось соотношение:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = v_n \omega_n = \text{const}.$$

где $\omega_n$ — площадь сечения прокатываемой полосы при выходе из данной клети, $см^2$;

$v_n$ — скорость выхода полосы из этой же клети, *см/сек*.

Из этого условия следует, что скорость прокатки по мере уменьшения сечения прокатываемой полосы должна увеличиваться.

Станы непрерывной прокатки начали применяться уже более 50 лет назад, но быстрое развитие непрерывной прокатки в металлургии начинается примерно с половины 20-х годов нашего столетия. В настоящее время эти станы применяются довольно широко для прокатки заготовок, листов, ленты, а также для прокатки мелкосортного металла.

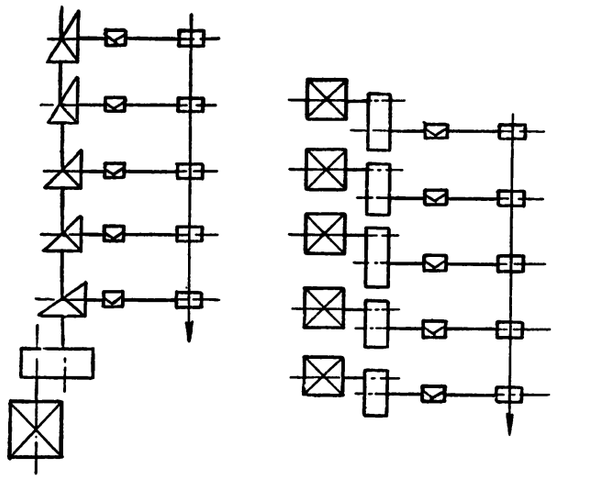



Рис. 92. Непрерывный стан:
*а* — с групповым приводом; *б* — с индивидуальным приводом

На непрерывных станах достигается громадная производительность при полном исключении ручного труда. На этих станах, благодаря автоматизации процесса прокатки, можно применять скорости прокатки значительно большие, чем на станах линейного типа с ручным обслуживанием. Скорость прокатки в последней клети непрерывных станов достигает 30 *м/сек*.

Существенным недостатком непрерывных станов является возможность растяжения или сжатия прокатываемой полосы между клетями с нарушением ее размеров по сечению. В связи с этим за последнее время получили распространение для прокатки среднесортной и крупносортной стали станы с зигзагообразным расположением клетей, схема одного из которых изображена на рис. 93. На этих станах в каждой клети производится также один пропуск, но полоса в них не находится одновременно в нескольких клетях

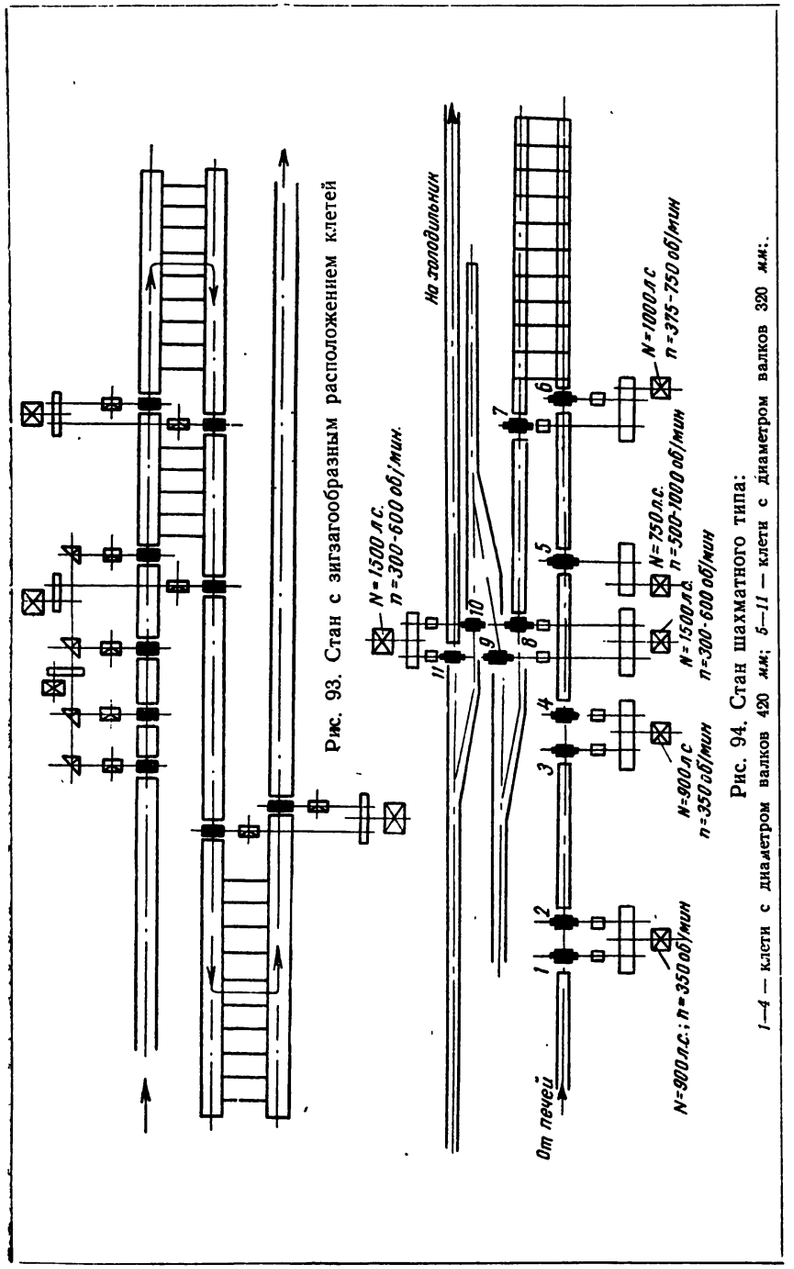



Рис. 93. Стан с зигзагообразным расположением клетей

Рис. 94. Стан шахматного типа:
*1—4* — клети с диаметром валков 420 *мм*; *5—11* — клети с диаметром валков 320 *мм*.

и помещается на рольганге между последовательными рабочими клетями. Чтобы не делать здание слишком длинным, клети располагают в трех параллельных ходу прокатки рядах и передают прокатываемую полосу из ряда в ряд или рольгангами с косо расположенными роликами или шлепперами. Прокатка в каждом ряде идет в сторону, противоположную направлению прокатки в предыдущем ряду.

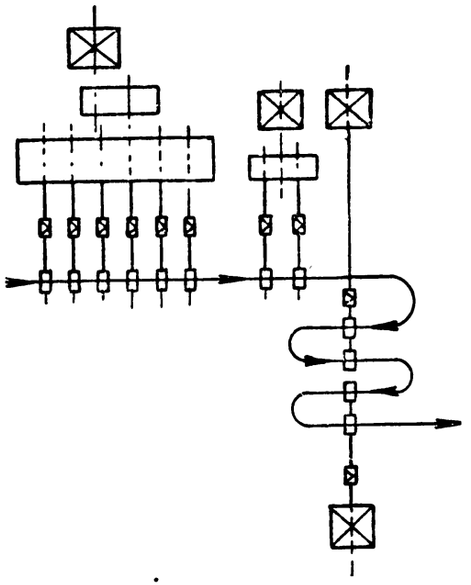


Рис. 95. Полунепрерывный стан

Разновидностью этого типа станов являются так называемые шахматные станы с расположением чистовых клетей в шахматном порядке (рис. 94).

Для прокатки мелкосортной стали нашли применение так называемые полунепрерывные станы, имеющие непрерывную черновую группу и чистовую линию, состоящую из нескольких рабочих клетей, расположенных линейно (рис. 95).

Однако в современных непрерывных станах указанный выше основной недостаток устраняется применением индивидуального привода каждой рабочей клети от электродвигателей с широкими пределами регулировки числа оборотов, что позволяет точно установить скорость прокатки для каждой клети.

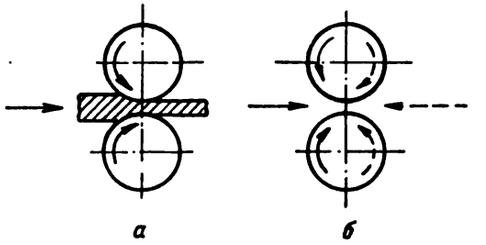
Необходимо отметить еще одно усовершенствование современных непрерывных станов — применение клетей с вертикальными валками. Установка таких клетей исключает кантовку полосы и ненадежные в работе кантующие проводки.

В последнее время непрерывный метод в прокатном производстве получает все большее и большее развитие. В дальнейшем непрерывный метод прокатки будет распространен и на более крупные сортовые станы. Непрерывные станы имеют преимущества по сравнению со станами других типов не только в отношении процесса прокатки и производительности, но и в отношении капитальных затрат на здание, получающееся более узким и относительно меньшей площади, и на оборудование, из которого исключаются дорогостоящие рольганги и шлепперы.



## 37. Классификация прокатных станов по расположению и количеству валков в рабочих клетях

Число валков и их взаимное расположение в прокатной клети может быть очень разнообразно. Оси валков в клетях могут быть расположены горизонтально, вертикально или наклонно.



*а* *б*

Рис. 96. Валки клетей дуо

Клети дуо с постоянным направлением вращения валков. У этих клетей два рабочих валка. Оси обоих валков расположены горизонтально. Каждый валок вращается постоянно в одном направлении. Число оборотов валков в минуту постоянно (рис. 96, *а*).

В настоящее время эти клети широко применяются в станах, в которых полоса проходит через клеть только один раз (чистовые клети линейных станов, клети непрерывных станов и групп, клети станов с последовательным расположением клетей и т. д.) и в тонколистовых прокатных станах, катающих тонкие и сравнительно короткие и легкие листы.

Реверсивные клети дуо (рис. 96 *б*). Валки этих клетей имеют переменное направление вращения, для чего устанавливаются специальные реверсивные электродвигатели. Реверсивные клети дуо используются при прокатке крупных слитков и заготовки на блумингах, слябингах, броневых, толстолистовых и универсальных станах дуо, на обжимных клетях рельсобалочных станов и т. д. Недостатком реверсивных станов является высокая стоимость двигателя.

Прокатные клети трио. В этом случае в прокатной клети устанавливаются три прокатных валка с горизонтальными осями, расположенными в одной вертикальной плоскости (рис. 97, *а*). Валки имеют вращение в постоянном направлении. При подаче полосы с задней стороны на переднюю полоса имеет не холостой ход, а рабочий, вследствие чего удается сохранить температуру прокатываемой полосы, повысить производительность, применяя подъемные устройства, облегчить тяжелый труд рабочих, обеспечить возможность прокатки тяжелых и длинных

полос, избежать установки дорогостоящего реверсивного станового двигателя.

Основным недостатком клетей трио при прокатке тяжелых и длинных полос является установка тяжелых и дорогостоящих подъемных устройств.

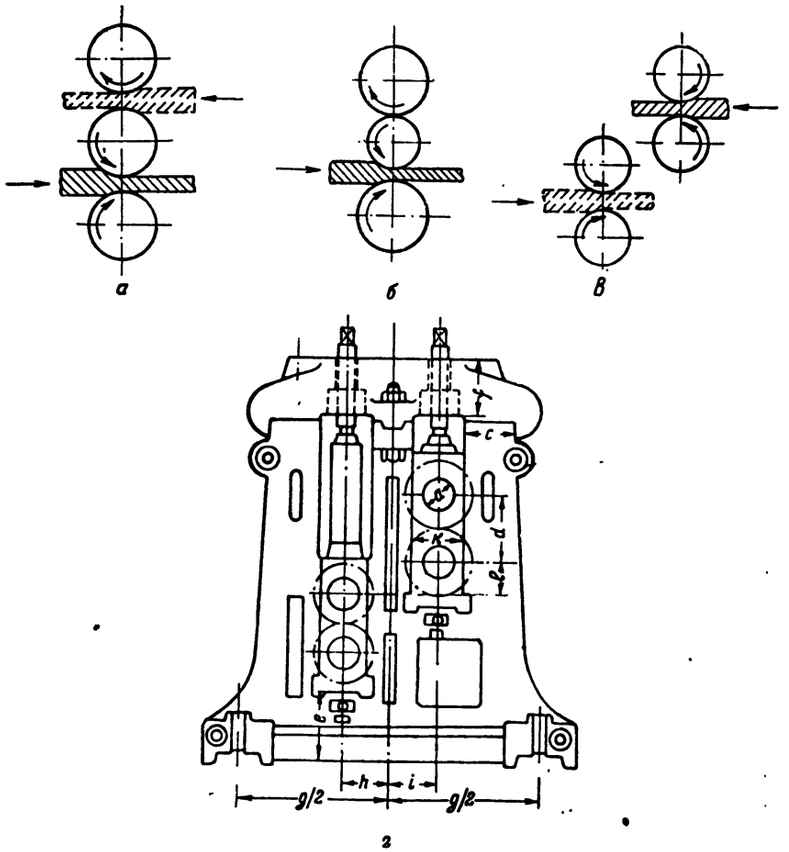



Рис. 97. Схемы вращения валков в клетях трио (*а, б*) и в клети двойное дуо (*в* и *г*)

В настоящее время клети трио устанавливаются во всех линиях линейных сортовых станов, если в одной клети необходимо сделать несколько пропусков.

С развитием и все большим распространением современных совершенных типов станов с непрерывным и последовательным



расположением клетей, с одним пропуском в каждой клети, клети трио все более и более теряют свое значение.

Прокатные клети двойное дуо (доппель-дуо). В этих клетях две пары валков с горизонтальными осями установлены в двух параллельных вертикальных плоскостях в одной клети таким образом, что обеспечивают прокатку в двух взаимнопротивоположных направлениях (рис. 97, *в, г*). Эти клети по конструкции много сложнее клетей трио, но создают возможность более полного использования бочки валков и более точной их установки. Эти клети нашли применение в мелкосортных станах ($D_н$=300÷350 *мм*) для прокатки качественной сортовой стали.

Прокатные клети трио со средним валком малого диаметра. Учитывая влияние диаметра валков на вытяжку и уменьшение высоты подъема, было предложено для прокатки листов диаметр среднего валка брать меньше по сравнению с диаметром верхнего и нижнего валков ($D$ = 0,66 $D_н$ = 0,66 $D_в$). Для большей прочности средний тонкий валок попеременно во время прокатки опирается в верхний и нижний валок и лист пропускается между верхним и средним или между средним и нижним валками (рис. 97, *б*).

Клети трио с уменьшенным диаметром среднего валка в настоящее время применяются для прокатки тонких и средних листов; верхний и нижний валки приводные и вращаются в одном направлении, средний валок обычно холостой и вращается за счет трения о верхний или нижний валок.

Этот тип клетей в настоящее время отживает, уступая место реверсивной клети кварто (четырехвалковой).

Прокатные клети переменное дуо. В линейных станах с приводом всех валков данной линии от одного двигателя и с одним пропуском полосы в каждой клети применяется клеть переменное дуо, являющаяся некоторым видоизменением клетей трио (рис. 98, *а*). В каждой последующей клети устанавливаются в чередующемся порядке по два валка: нижний и средний и верхний и средний.

Для передачи крутящего момента двигателя валкам последующих клетей в каждой клети вместо отсутствующего нижнего или верхнего валка устанавливается соединительный шпиндель. Эти станы устанавливаются для прокатки проволоки и мелкосортного железа. При прокатке проволоки в отдельных клетях этих станов возможна прокатка одновременно нескольких полос. Процесс прокатки непрерывный. Полосу задают в последующую клеть, не ожидая выхода ее из предшествующей. В этом случае между клетями полоса образует петлю, почему эти станы называются петлевыми (рис. 98, *б*). В настоящее время задача полосы осуществляется с передней стороны линии вручную, с задней же

стороны по обводкам. В современных комбинированных мелкосортных станах эти клети находят себе применение.

Многовалковые прокатные клети. Учитывая преимущество клетей с малым диаметром рабочих валков (большую вытяжку и меньшее давление металла на валок при проходе полосы между валками) и одновременно необходимость их усиления, были предложены многовалковые клети: четырехвалковые (кварто) — с двумя рабочими и двумя опорными валками (рис. 99, *а*), восьмивалковые (рис. 99, *б*), двенадцативалковые (рис. 99, *в*) и двадцативалковые (рис. 99, *г*).

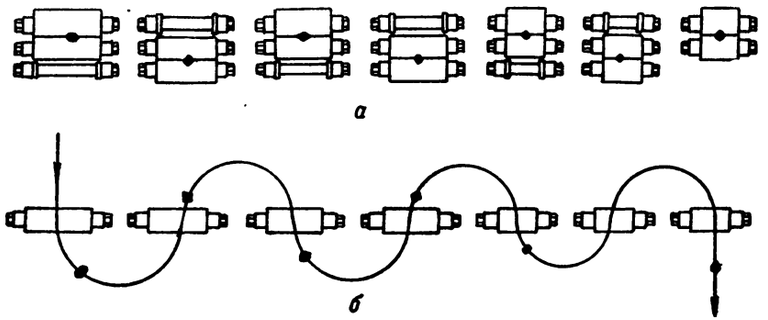



Рис. 98. Схема взаимного расположения валков в клетях переменное дуо: *а* — вид с задней стороны; *б* — план

В станах горячей и холодной прокатки нашли большое применение четырехвалковые клети. Многовалковые клети применяются при холодной прокатке тонких с точными размерами листов и полос. Многовалковые клети устанавливаются как с постоянным направлением вращения валков, так и с реверсивным. У всех этих клетей рабочими валками являются два приводных валка малого диаметра, остальные валки большого диаметра — холостые и служат опорными. В этих станах часто полоса катается большой длины и после каждого пропуска сматывается в виде рулона: рулонная прокатка листов и полос.

Клети с вертикальными валками. Во избежание кантовки прокатываемой полосы в некоторых типах современных станов между клетями дуо с горизонтальными валками устанавливаются клети дуо с вертикальными валками, с осями, расположенными в одной вертикальной плоскости (рис. 100), — новейшие проволочно-непрерывные станы, заготовочные, штрипсовые станы.

Универсальные клети. При прокатке универсального железа и слябов требуется готовый продукт, у которого все четыре стороны прямоугольного профиля были бы взаимно-перпендикулярны и четыре угла были бы прямыми. При прокатке такой полосы между двумя горизонтальными цилиндрическими валками боковые грани обычно получаются слабо вогнутыми или слабо выпуклыми.



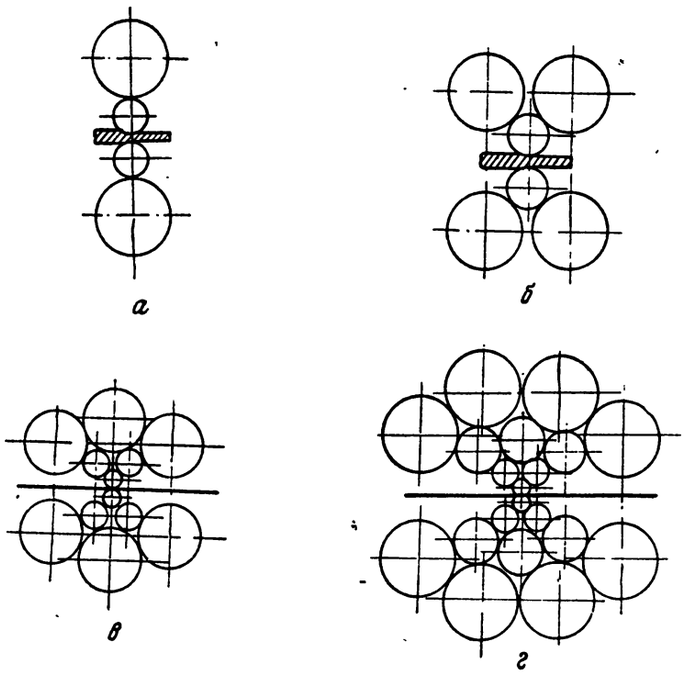



Рис. 99. Схемы расположения валков в многовалковых клетях

Для борьбы с этим явлением в прокатной клети, кроме валков с горизонтальными осями, устанавливаются валки с вертикальными осями. Клеть получается более сложной конструкции. Вертикальные валки устанавливаются впереди или позади горизонтальных валков, иногда же они устанавливаются и спереди и сзади. Валки с горизонтальными осями могут быть установлены по системе дуо, трио или кварто (рис. 100 *б*, *в*).

Клети специального типа. Для прокатки специальных профилей (бандажей, цельнокатанных колес, бесшовных труб) применяются прокатные клети специального типа. От рассмотренных типов они могут отличаться по количеству валков в клети и по их взаимному расположению. Схемы некоторых клетей приведены на рис. 101 *а*, *б*, *в*, *г*.

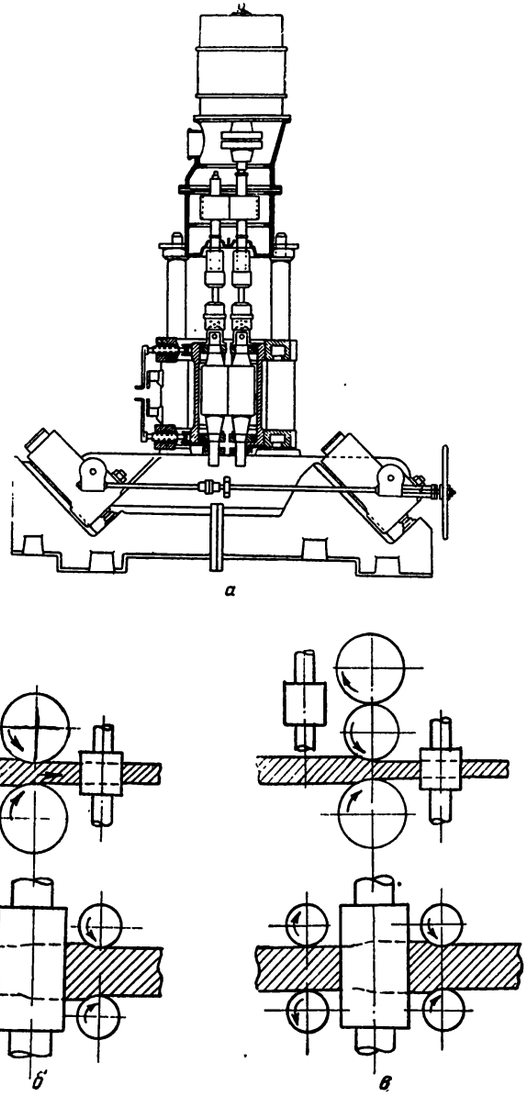



Рис. 100. Схемы взаимного расположения валков в клетях с вертикальными валками:

*а* — клеть с вертикальными валками; *б* — универсальная клеть дуо с одной парой вертикальных валков; *в* — универсальная клеть трио с двумя парами вертикальных валков

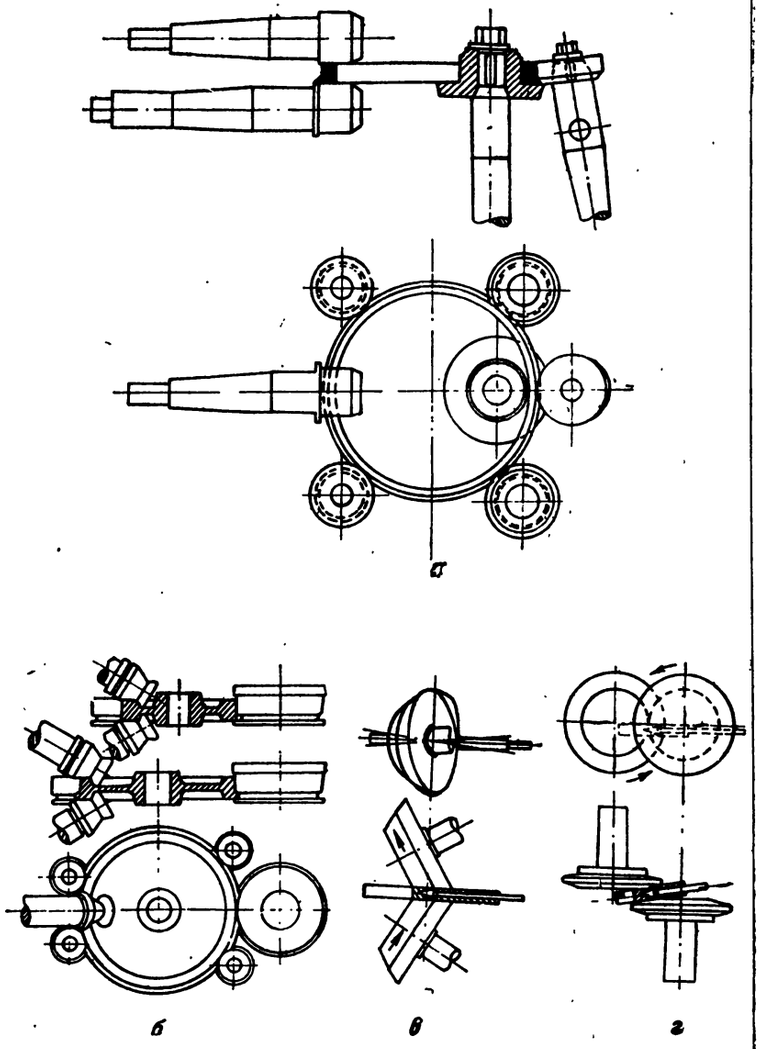



Рис. 101. Схемы взаимного расположения валков в прокатных клетях специального типа:

*а* — горизонтальный бандажепрокатный стан; *б* — колесопрокатный стан; *в* — прошивной стан с грибовидными валками; *г* — прошивной стан с дисковыми валками

Во многих случаях на одном и том же прокатном стане устанавливаются клети различных типов. Например, на первой линии современных рельсобалочных станов обычно используется реверсивная клеть дуо, а на второй линии — клети трио. Другой пример проволочного стана, клети которого расположены в несколько линий: на первой линии часто применяют клети трио, а на чистовых линиях — переменные дуо и т. д.

## *Глава IX*

# ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СОБСТВЕННО ПРОКАТНОГО СТАНА. ПРОКАТНАЯ КЛЕТЬ; ШЕСТЕРЕННАЯ КЛЕТЬ; ГЛАВНЫЙ РЕДУКТОР; СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

### 38. Основные узлы прокатного стана и их назначение

Прокатный агрегат (прокатный стан) состоит из следующих основных узлов: сдной или нескольких прокатных клетей, двигателя, редуктора, шестеренной клети, маховика и соединительных деталей между отдельными узлами (рис. 102). Вся установка монтируется на общем фундаменте.

В зависимости от типа стана в его состав входит один (рис. 103) или несколько подобных агрегатов (рис. 104).

В отдельных типах прокатных станов некоторые узлы могут отсутствовать.

В других типах прокатных станов количество перечисленных выше узлов в одной установке увеличивается (например, число прокатных клетей в одном агрегате доходит до девяти).

Если собственно прокатный стан с несколькими последовательными клетями приводится в действие от одного общего двигателя, то редуктор также может быть установлен общий (рис. 105).

Прокатные клети. Прокатные валки устанавливаются в прокатных клетях. Прокатная клеть должна воспринять давление металла на валки, обеспечить валкам возможность вращения в требуемом направлении с минимальными потерями энергии и правильную, точную и быструю установку валков.

Число оборотов валков в минуту должно находиться в некоторых пределах, зависящих от типа стана, профиля и марок прокатываемой стали.

Принятые практикой в настоящее время числа оборотов в минуту валков некоторых клетей разного типа станов приводятся в табл. 3.

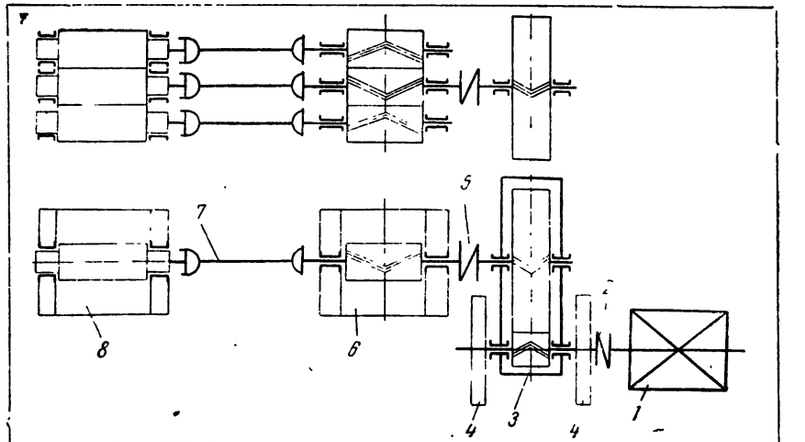



Рис. 102. Схема основных узлов линии прокатного стана:
*1* — двигатель; *2* — моторная муфта; *3* — редуктор; *4* — маховик; *5* — коренная муфта; *6* — шестеренчатая клеть; *7* — соединительный шпиндель; *8* — рабочая клеть

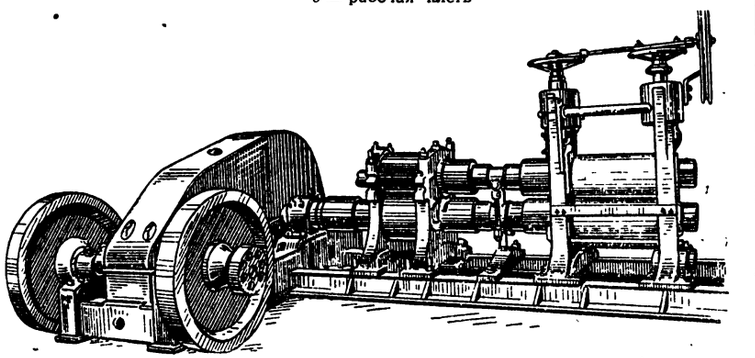


Рис. 103. Одноагрегатный прокатный стан

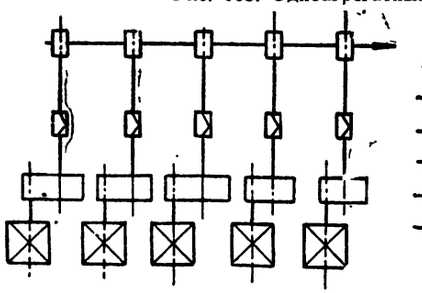


Рис. 104. Многоагрегатный прокатный стан

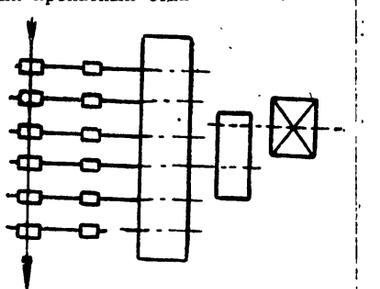


Рис. 105. Многоклетьевой непрерывный стан с общим двигателем и редуктором

*Таблица 3*

**Число оборотов в минуту валков клетей разных станов**

| Стан | Тип стана | Назначение клети | $D_н$, *мм* | Число об мин. |
|---|---|---|---|---|
| Блуминг | Одноклетьевой реверсивный дуо | — | 1150 | 0—120 |
| Слябинг | То же | — | 1100 | 0—100 |
| Обжимной | Линейный трио | — | 850 | 40—60 |
| Сортовой | Зигзагообразный | Обжимная | 630 | 28,4 |
| | | Чистовая | 540 | 114,6—229,2 |
| » | Линейный | Обжимная | 600 | 50—90 |
| | | Чистовая | 450 | 90—147 |
| » | Зигзагообразный | Обжимная | 400 | 57 |
| | | Чистовая | 315 | 215—400 |
| Проволочный | Непрерывный | Обжимная | 354 | 6—19 |
| | | Чистовая | 259 | 800—1600 |

Следует отметить, что по мере автоматизации прокатных станов число оборотов валков в минуту будет увеличиваться.

К основным узлам прокатной клети относятся: прокатные валки, вкладыши скольжения и подшипники качения, подушки прокатных станин, прокатные станины, устройства для регулировки валков, устройства для уравновешивания валков, крепежные части и т. д. Прокатная клеть устанавливается на фундаментных линейках, укрепляемых на фундаменте.

Становые двигатели. Двигателем прокатных станов в настоящее время служит электродвигатель постоянного или переменного тока (асинхронный или синхронный). Старые паровые машины почти на всех станах заменены электродвигателями.

В реверсивных установках применяются двигатели постоянного тока, в установках с широким диапазоном изменения числа оборотов — двигатели постоянного тока и асинхронные двигатели переменного тока с регулированием числа оборотов, в установках, работающих в условиях слабо колеблющегося числа оборотов (установках с маховиком), — асинхронные двигатели. В установках с постоянным числом оборотов — синхронные двигатели переменного тока.

Моторы могут выполняться как быстроходными с числом оборотов более 250 в минуту, так и тихоходными, с числом оборотов якоря менее 250 в минуту. В современных прокатных установках применяются быстроходные становые электродвигатели, требующие для своего изготовления меньшего количества дефицитных материалов (медного провода для обмотки), занимающие меньше места в цехе, имеющие меньший вес и более дешевые.

Мощность становых двигателей в горячепрокатных цехах колеблется в зависимости от типа стана от 125 до 10 000 *л. с.*



Число становых двигателей у одного прокатного стана зависит от типа стана и доходит до 14 (непрерывный широкополосный стан) с общей мощностью до 40 000 *л. с.*

Электродвигатели допускают кратковременную перегрузку.

В табл. 4 приведен $M_{макс}$ прокатки по отношению к номинальному моменту двигателя $M_н$.

*Таблица 4*

**Максимальный момент прокатки разных двигателей**

| Тип двигателей | $M_{макс}$ прокатки | Примечание |
|---|---|---|
| Реверсивный | 2,5—3 $M_н$ | |
| Нереверсивный | 1,5—2 $M_н$ | Без маховика |
| » | 4—6 $M_н$ | С маховиком |

Становые редукторы. При современном состоянии машиностроения и электромашиностроения в СССР стоимость быстроходного двигателя с редуктором у прокатных станов ниже стоимости тихоходного, в связи с чем эта установка является общепризнанной и общераспространенной. Расход электроэнергии также повышается очень незначительно. Коэффициент полезного действия одноступенчатого редуктора благодаря крупным достижениям советского редукторостроения достигает 0,98.

Шестеренные клети. В прокатных клетях вращающий момент двигателя необходимо передать одновременно нескольким валкам, находящимся в одной клети (от двух до шести). Двигатель и редуктор имеют один приводный вал. Для распределения вращающего момента между рабочими валками и придания им требуемого направления вращения между редуктором (или при отсутствии такового между двигателем) и прокатными клетями устанавливается шестеренная клеть.

Маховики. Процесс прокатки складывается из ряда отдельных пропусков полосы между валками и необходимых пауз между пропусками. При прокатке во время прохода полосы между валками для деформации металла требуется значительный вращающий момент двигателя, доходящий до 500 *т. м.* Вращающий момент двигателя во время холостого хода сравнительно незначителен. Время прокатки полосы в отдельных пропусках, особенно в первых пропусках обжимных и заготовочных станов, очень незначительно (0,5 ÷ 0,7 сек.). Время пауз между пропусками колеблется в пределах 2 ÷ 7 сек. Вследствие этого нагрузка на мотор носит характер пиковой — ударной (рис. 106). Мощность установленного двигателя должна обеспечить возмож-

ность прокатки полосы в наиболее тяжелом пропуске с наибольшим моментом (с наибольшей мощностью), в остальное время, и тем более во время холостого хода, — двигатель будет недогружен. Пиковая нагрузка мощных прокатных станов создает резко ударную нагрузку на электростанцию, что крайне нежелательно. Для уменьшения мощности устанавливаемого станового двигателя и смягчения ударов на станционный двигатель у станов, работающих с постоянным направлением вращения валков, устанавливаются маховики.

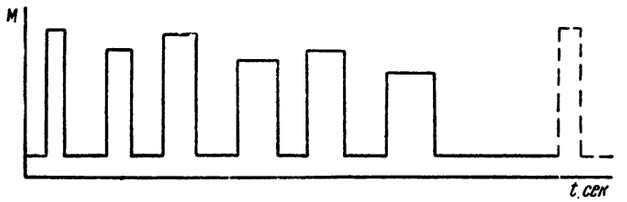



Рис. 106. Диаграмма моментов прокатки в обжимной клети линейного стана

Для стана с маховиком

$$M_{пр} = M_{дв} + M_{дин.мах} \qquad (116)$$

где $M_{пр}$ — момент, потребляемый станом во время пропуска полосы между валками, и момент потерь на трение во всех трущихся частях, приведенный к валу двигателя;

$M_{дв}$ — момент, развиваемый двигателем;

$M_{дин.мах}$ — динамический момент маховика, приведенный к валу двигателя.

Значение $E$ (запас энергии маховика) принимается в зависимости от назначения стана и мощности двигателя (табл. 5).

*Таблица 5*

**Значение $E$ (запаса энергии маховика) в зависимости от назначения стана и мощности двигателя**

| Стан | $E : M_н$ | Примечание |
|---|---|---|
| Сортовой . . . . . | 15÷25 | Без регулирования скорости |
| » . . . . . | 10÷15 | С регулированием скорости |
| Тонколистовой дуо . . . | 10÷12 | |



Чем больше число оборотов маховика, тем меньше может быть его вес и диаметр, т. е. тем легче и меньшего размера может быть установлен маховик. Поэтому при наличии редуктора у стана маховик устанавливается на валу малой шестерни редуктора. Для более равномерной нагрузки подшипников малой шестерни редуктора вместо одного маховика часто устанавливаются два маховика меньшего веса по обе стороны малой шестерни.

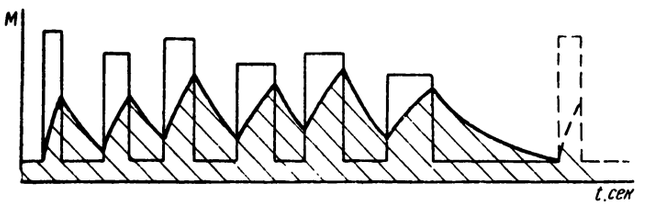



Рис. 107. Диаграмма моментов станового двигателя при наличии маховика (обжимная клеть линейного стана)

На рис. 107 приводится диаграмма станового двигателя во время работы при наличии маховика. Как видно из диаграммы, максимальная мощность двигателя резко снижается и нагрузка его выравнивается. Действие маховика основывается на том, что во время пропуска полосы число оборотов двигателя незначительно снижается, одновременно снижает число оборотов и маховик, отдавая при этом часть запасенной в нем энергии. Во время же пауз число оборотов мотора повышается до нормального, маховик же одновременно повышая число оборотов, пополняет отданную энергию и, как принято говорить, заряжается. Маховик может соответствовать своему назначению только тогда, когда к началу прокатки следующей полосы он достаточно зарядится, т. е. когда между отдельными пропусками одной и той же полосы будут иметься достаточные по времени паузы.

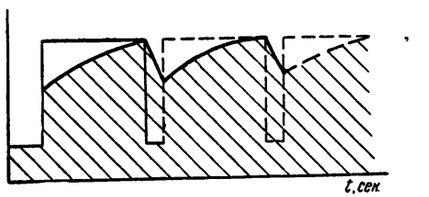



Рис. 108. Диаграмма моментов станового двигателя чистовой клети мелкосортного стана

При более равномерной загрузке стана (чистовая клеть непрерывного мелкосортного стана рис. 108, чистовая линия линейного проволочного стана и др.), роль маховика будет не положительна, а отрицательна. По этой же причине у реверсивных станов маховики не устанавливаются.

Соединительные детали. Для передачи крутящего момента от двигателя прокатным валкам двигатель, вал редуктора, вал маховика, главные шестерни и прокатные валки должны быть соединены между собою. Соединение осуществляется соединительными валами, соединительными шпинделями и соединительными муфтами.

Муфта, соединяющая двигатель с редуктором, называется моторной; муфты и шпиндели, соединяющие редуктор или двигатель с главной шестерней, называются главными муфтами и главными шпинделями; наконец, муфты и шпиндели, соединяющие валки одной клети с валками другой прокатной клети, а также главные шестерни с валками первой прокатной клети, — называются соединительными валками — шпинделями и соединительными муфтами (см. рис. 102).

## 39. Прокатные валки

Прокатные валки можно классифицировать по ряду признаков:

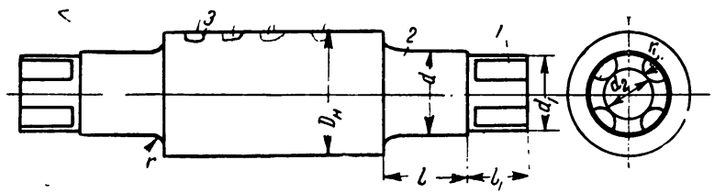



Рис. 109. Эскиз валка нормального типа:
*1* — треф; *2* — шейка; *3* — бочка

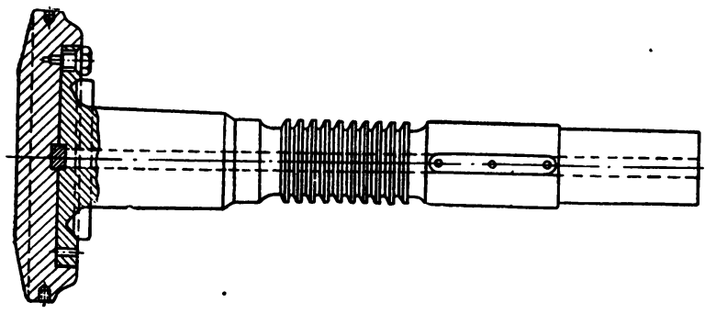


Рис. 110. Эскиз консольного валка дискового трубопрошивного стана

1) по расположению шеек валков относительно бочки;
2) по форме бочки;
3) по материалу валков;
4) по технологии изготовления валков.



Шейки валков могут располагаться по обе стороны валков (валки нормального типа, рис. 109), или по одну сторону бочки (валки консольного типа, рис. 110). Валки нормального типа широко применяются: при горячей и при холодной прокатке (рабочие и опорные).

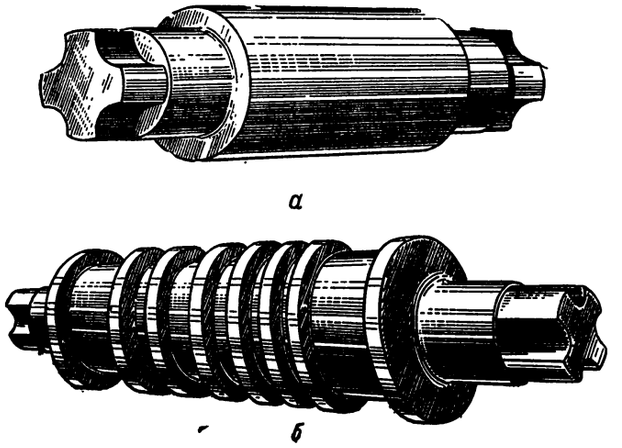



Рис. 111. Прокатные валки нормального типа:
*а* — с гладкой бочкой; *б* — с ручьевой бочкой

Основными элементами валков являются бочка (рабочая часть валка), две шейки и трефы. Бочка валка может быть гладкая (при прокатке листов, рис. 111, *а*) или ручьевая с кольцевыми проточками, соответствующими в продольном сечении валка форме ручья (рис. 111, *б*).

Гладкая бочка — цилиндрическая, слабовогнутая или слабовыпуклая (рис. 112, *а*, *б*, *в*) применяется при прокатке листов, слябов, у горизонтальных рабочих и опорных валков.

У клетей прошивных станов с косо установленными валками форма бочки коническая, состоящая как бы из усеченных конусов, сложенных большими основаниями с цилиндрической частью между ними (рис. 113).

Кольцевые прорези у ручьевых валков по форме бывают очень разнообразны, в зависимости от формы и размеров профиля прокатываемой в них полосы.

При переточке изношенных валков форма ручья восстанавливается, но одновременно рабочий диаметр валка уменьшается. Уменьшение рабочих диаметров стальных мягких и полутвердых чугунных валков сортопрокатных станов допустимо, исходя из условий прочности валка после переточки, до 10% от первоначальных размеров. Для валков с отбеленной наружной поверхностью

бочки глубина вреза ручья после переточки не должна выходить из области толщины отбеленного слоя.

Бочки валков и ручьи на бочке протачиваются на специальных вальцетокарных станках. Валки с гладкой бочкой шлифуются на специальных вальцешлифовальных станках, на этих же станках обрабатываются валки и при переточке.

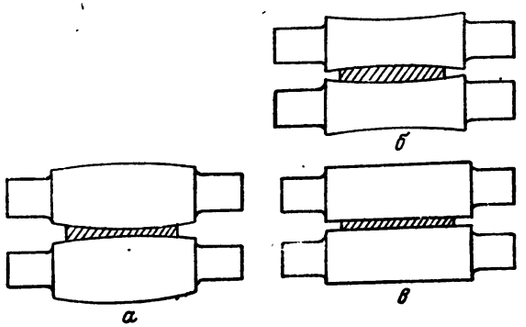



Рис. 112. Форма гладкой бочки валка:
*а* — выпуклая; *б* — вогнутая; *в* — цилиндрическая

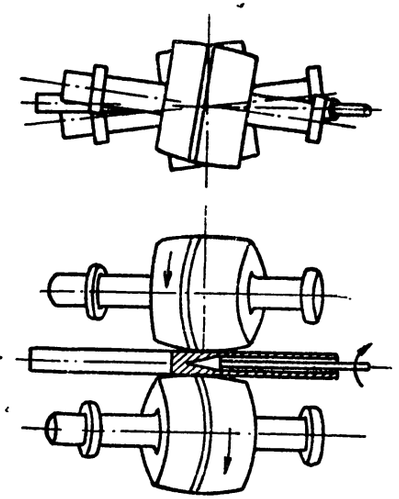


Рис. 113. Валки прошивного стана с конической бочкой

Шейки валков обычно изготовляются цилиндрическими шлифованными для уменьшения излишних потерь на трение. Трефы необходимы для передачи крутящего момента двигателя валкам. Наиболее распространенной формой трефа является четырехлопастная и однолопастная (рис. 111, *а*, 114). При однолопастных трефах резко уменьшаются удары, имеющие место при входе и выходе полосы из валков, и возможно большее отклонение оси соединительного шпинделя от горизонтального положения.

Для горизонтальных валков нормального типа (рис. 109) практика установила известную зависимость между размерами отдельных частей валков (табл. 6).



*Таблица 6*

**Размеры отдельных частей валков нормального типа**

| Назначение валков | Шейка | | | Треф | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $d/D$ | $l/d$ | $r/D$ | $d_1$, *мм* | $l_1/d_1$ |
| Блуминги . . . . | 0,55—0,6 | 1,0 | 0,065 | $d$—10÷15 *мм* | 0,7—0,8 |
| Сортовые станы дуо | 0,6—0,7 | 1,2 | 0,065 | $d$—10÷15 *мм* | 0,7—0,8 |
| То же трио . . . | 0,55 | 0,92—1,2 | 0,065 | $d$—10÷15 *мм* | 0,7—0,8 |
| Средне- и толстолистовые станы | 0,67—0,75 | 0,83—1,0 | 0,10—1,12 | 0,9÷0,94 $d$ | 0,7—0,75 |
| Тонколистовые станы . . . . . | 0,75—0,80 | 0,8—1,0 | 50—90 *мм* | 0,85 $d$ | 0,7 |

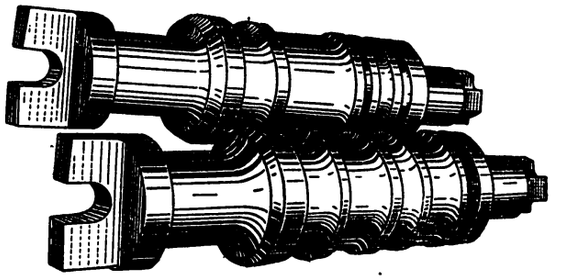


Рис. 114. Валки блуминга с однолопастными трефами

Номинальный диаметр валков клети зависит от рабочих радиусов и высоты калибров (рис. 115):

$$D_н = \frac{D_р^в}{2} + h_к + \frac{D_р^н}{2} \qquad (117)$$

где $D_р^в$ — рабочий диаметр верхнего валка;
$D_р^н$ — то же нижнего валка;
$h_к$ — высота калибра.

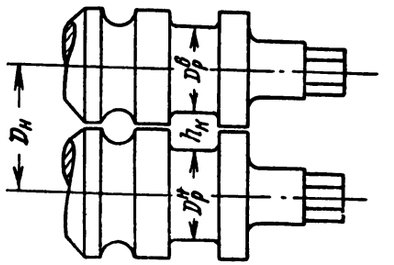



Рис. 115. Зависимость номинального диаметра валка от рабочих диаметров и высоты калибра

Выбрав размеры основных элементов валков, их необходимо проверить расчетом на прочность.

Бочка валков обычно рассчитывается только на изгиб, шейки валка проверяются на изгиб и кручение. Четырехлопастный треф

обычно не рассчитывается; его размеры принимаются на основе практических данных (по табл. 6).

При расчете на прочность бочки ручьевого валка определяют напряжения в среднем сечении каждого калибра (ручья) по формуле

$$\sigma_к = \frac{M_{из.к}}{W_к} \quad кг/см^2, \tag{118}$$

где $M_{из.к}$ — максимальный изгибающий момент в данном калибре по огибающей эпюре моментов, *кг/см*;

$W_к$ — момент сопротивления изгибу валка в данном калибре, *см*³.

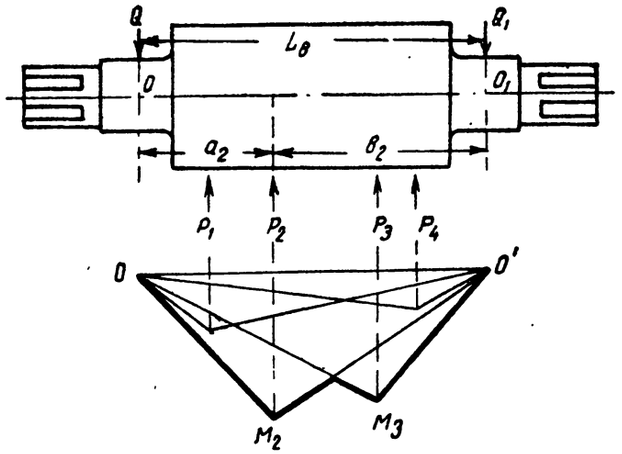



Рис. 116. Построение огибающей эпюры моментов:
——— эпюра моментов при прокатке в данном калибре;
▬▬ — огибающая эпюра моментов

Построение огибающей эпюры моментов понятно из рис. 116. Сначала для каждого калибра строится соответствующая эпюра моментов по формуле:

$$M_{из.к} = \frac{P_к b_к a_к}{L_в}, \tag{119}$$

где $P_к$ — давление металла на валок в данном калибре при проходе через него полосы, *кг*;

$a_к$ и $b_к$ — расстояния до середины данного калибра от середины шеек, *см*;

$L_в$ — расстояние между серединами шеек, *см*;

$M_{из.к}$ — момент, изгибающий валок при проходе полосы в данном ручье, *кг · см*.

Нагрузка $P_к$ для ручьевых валков принимается сосредоточенной и приложенной в середине калибра.

Необходимость построения огибающей эпюры моментов вызывается тем, что в отдельных случаях максимальный момент в данном калибре получается не при пропуске полосы в данном калибре, а при проходе ее в соседнем калибре.



Момент сопротивления

$$W_к = 0{,}1\, D^3_{р.мин} \quad см^3, \tag{120}$$

где $D_{р.мин}$ — минимальный рабочий диаметр в данном калибре после последней переточки валков, *см*.

Шейки валков рассчитываются по формулам сложного изгиба (изгиб и кручение).

Для стальных валков расчет ведется по формуле:

$$\sigma_ш = \sqrt{\sigma^2_{из.ш} + 3\tau^2_ш}, \tag{121}$$

где $\sigma_ш$ — суммарное напряжение в шейке, *кг/см*²;

$\sigma_{из.ш}$ — напряжение изгиба в шейке в месте перехода шейки в бочку *кг/см*²;

$\tau_ш$ — напряжение кручения в шейке от передаваемого шейкою момента кручения, *кг/см*².

Изгибающее напряжение в шейке валка определяется по формуле

$$\sigma_{из.ш} = \frac{Q \cdot l}{2 \cdot 0{,}1\, d^3} = \frac{P b_к \cdot l}{2 L_в\, 0{,}1\, d^3} \quad кг/см^2, \tag{122}$$

где $Q$ — давление на шейку валка, *кг*;

$l$ — длина шейки, *см*;

$d$ — диаметр шейки, *см*;

$L_в$ — длина валка между серединами шеек, *см*;

$P$ — давление металла на валок в данном калибре, *кг*;

$b_к$ — расстояние от середины противоположной шейки до середины заданного калибра, *см*.

Напряжение кручения, возникающее в шейке валка:

$$\tau = \frac{M_{кр.ш}}{0{,}2\, d^3} \quad кг/см^2, \tag{123}$$

где $M_{кр.ш}$ — крутящий момент, воздействующий на шейку валка *кг · см*.

Для чугунных валков напряжение в шейке валка рассчитывается по формуле

$$\sigma_ш = 0{,}375\, \sigma_{из.ш} + 0{,}625 \sqrt{\sigma^2_{из.ш} + 4\tau^2_ш} \quad кг/см^2. \tag{124}$$

Полученные расчетом значения $\tau_к$ и $\sigma_ш$ должны быть не менее допустимых $[\sigma]_в$ для валков:

$$[\tau]_в = \frac{\sigma_в}{n_в}; \qquad [\sigma]_ш = \frac{\sigma_в}{n_ш} \quad кг/см^2, \tag{125}$$

где $\sigma_в$ — предел прочности для материала валков, *кг/см*²;

$n_в$, $n_ш$ — коэффициент безопасности, принимаемый для прокатных валков равным 5, т. е. валки должны быть изготовлены из материала с

$$\sigma_в \geqslant 5\, \sigma_б$$

или соответственно

$$\sigma_в \geqslant 5\, \sigma_ш.$$

Исходя из условий прочности, обжимные и заготовочные валки обычно изготовляют из стали, валки чистовых клетей — из чугуна, валки черновых клетей — из стали или чугуна, в зависимости от воздействующих на них усилий и требований к качеству поверхности продукта обработки.

Наиболее дорогими валками являются стальные легированные, предназначенные для станов (клетей) холодной прокатки, проходящие процесс сложной термической обработки.

Чугунные валки отливаются из углеродистого или легированного чугуна. Стоимость последних выше, но они обладают большей прочностью и износоустойчивостью.

Бочка чугунных углеродистых валков может быть изготовлена из серого полутвердого чугуна или отлита с отбеленной поверхностью. Шейки и трефы не отбеливаются.

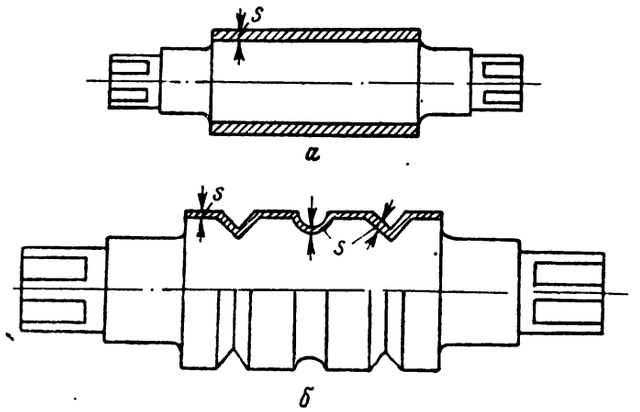



Рис. 117. Чугунные валки с отбеленной поверхностью:
*а* — валок с гладкой бочкой; *б* — ручьевой валок

Толщина $S$ отбеленного слоя у листовых валков (рис. 117, *а*) во избежание излишней хрупкости валков не превышает 15 ÷ 20 *мм*, у сортовых валков не более 10% от диаметра валков. Толщина отбеленного слоя у ручьевых валков должна обеспечить возможность полной переточки валков. В последнее время чугунные валки с отбеленной поверхностью для среднесортных станов начали отливаться фасонными (рис. 117, *б*), что дает возможность лучше бороться с хрупкостью и обеспечивает возможность переточки до нормального предела (10% $D_н$). Во многих прокатных цехах в последнее время применяются чугунные валки с шаровидным графитом (особенно на станах тонколистовой горячей прокатки). Прочность этих валков значительно выше, чем обычных чугунных.

## 40. Станины прокатных клетей

Станины прокатных клетей предназначены для установки в них прокатных валков и для восприятия давления металла на валки во время прокатки, передаваемого через опоры шеек. Для возможности вращения шеек валков в опорах (подушках) в них устанавливаются вкладыши скольжения или подшипники качения (роликовые).

Устройство прокатных клетей должно быть таково, чтобы имелась возможность легко и просто осуществлять перемену и установку валков и взаимную регулировку осей валков. Для этой цели



в верхней части станины обычно устанавливают нажимную гайку, через которую проходит нажимной винт, при помощи которого регулируют положение оси верхнего валка. Прокатные станины

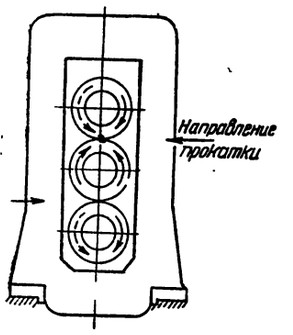



Рис. 118. Закрытая станина клети трио

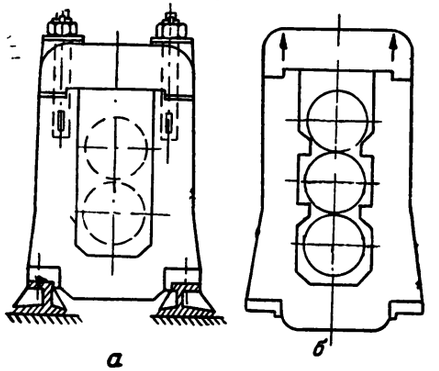



Рис. 119. Открытые станины:
*а* — клетей дуо; *б* — клетей трио

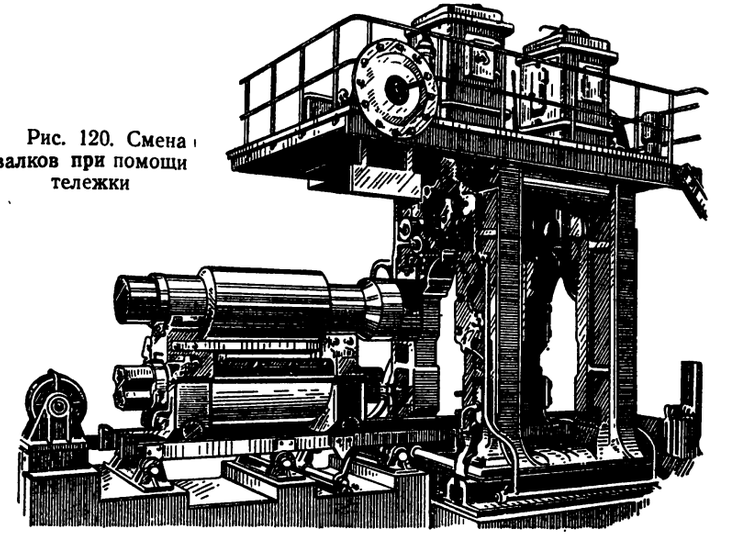


Рис. 120. Смена валков при помощи тележки

изготовляются двух типов: закрытые (рис. 118) и открытые (рис. 119). Закрытые станины благодаря своей жесткости лучше обеспечивают точность прокатываемого профиля, но перемена валков сравнительно с открытыми станинами затрудняется.

У крупных обжимных и у листовых станов, у которых усилия прокатки значительны (до 2000 *т*) (рис. 120) станины изготов-

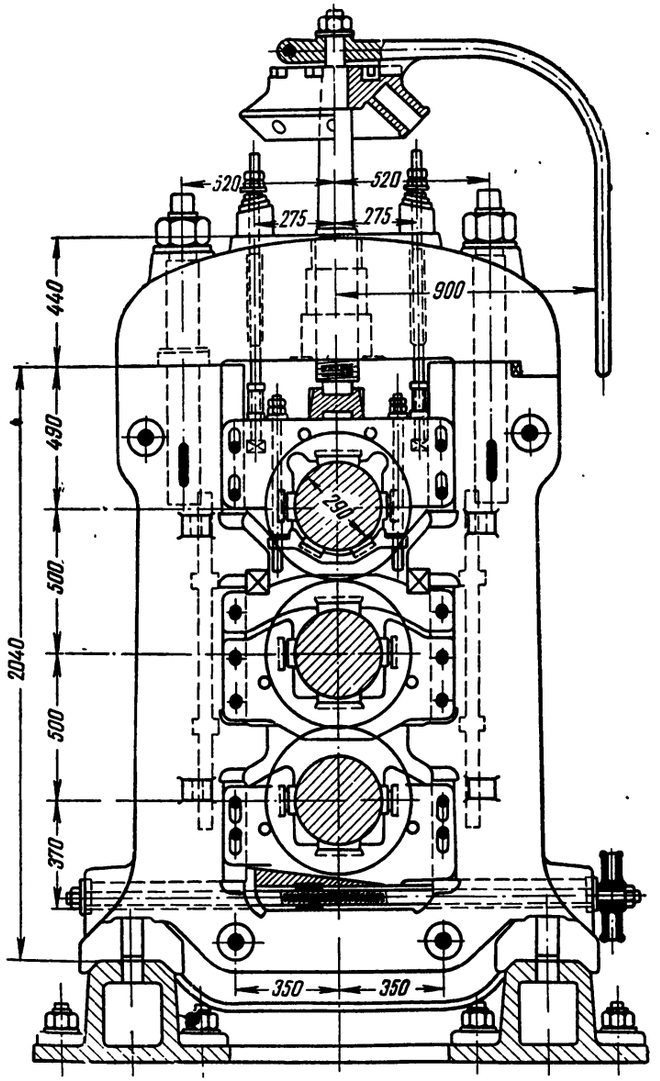



Рис. 121. Станина прокатной клети трио с приливами для подушек среднего валка



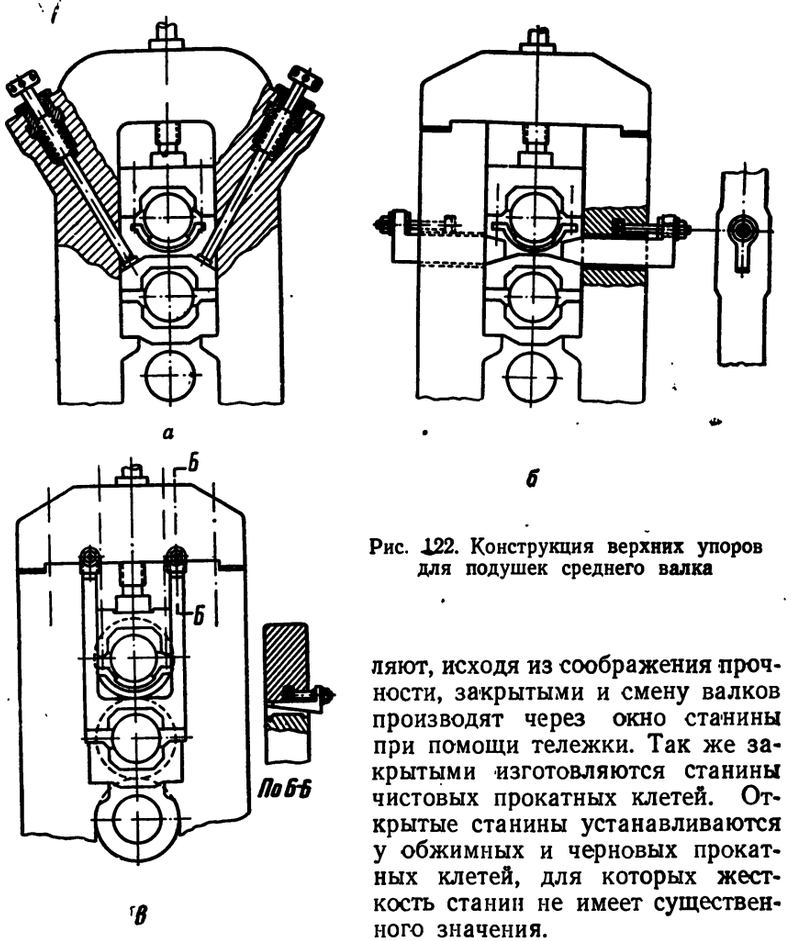



Рис. 122. Конструкция верхних упоров для подушек среднего валка

ляют, исходя из соображения прочности, закрытыми и смену валков производят через окно станины при помощи тележки. Так же закрытыми изготовляются станины чистовых прокатных клетей. Открытые станины устанавливаются у обжимных и черновых прокатных клетей, для которых жесткость станин не имеет существенного значения.

В клетях трио на боковых плоскостях окна в месте установки подушек среднего валка делаются приливы (рис. 121).

Для облегчения и ускорения перевалки среднего валка верхние упоры для подушек этого валка в некоторых конструкциях выполняются не цельнолитыми со стойками, а отдельно или в виде упорных винтов (рис. 122, *а*), или в виде поперечных клиньев (рис. 122, *б*), или, наконец, в виде кассеты, вставляемой в окно прямоугольной формы (рис. 122, *в*) вместе с валками.

Для жесткой установки станин на фундаментных линейках (плитовинах) у нижней части станин отливаются лапы, жестко скрепляемые с линейками болтами.

Обе станины прокатной клети должны быть жестко связаны между собою. Связь осуществляется вверху и внизу станин при

помощи длинных болтов и распорных трубок (рис. 123), а у более мощных станов (блумингов, слябингов, толстолистовых и крупных клетей кварто) вместо стяжных болтов устанавливают мощные литые траверсы, которые крепятся к станинам (рис. 124).

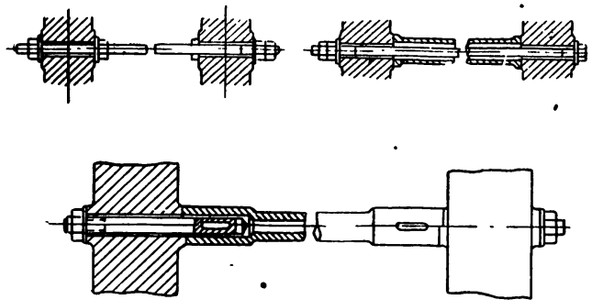


Рис. 123. Соединение станин при помощи стяжных болтов и распорных трубок

Для установки проводковых брусьев в вертикальных стойках изготовляются прорези, в которые заводятся брусья и крепятся клинья.

Фундаментные линейки, изготовляемые из чугуна, служат для установки и крепления к ним лап прокатных станин. У станов тяжелого типа вдоль оси валков устанавливаются на фундаменте две линейки (рис. 125).

## 41. Вкладыши и подшипники

Шейки прокатных валков вращаются во вкладышах или подшипниках качения (роликовых), устанавливаемых в подушках прокатных клетей. Наибольшее распространение получили вкладыши открытого типа. В последнее время стали применяться подшипники жидкостного трения и подшипники качения.

При проектировании вкладышей и подшипников качения для валков прокатных клетей необходимо считаться с ограниченными габаритами подушек, большими удельными давлениями и большим значением $pv$.

В то время как в машиностроении принимают при расчетах

$$p \leqslant 90 \ кг/см^2 \quad и \quad pv \leqslant 100 \ кг/см^2 \cdot м/сек,$$

в шейках прокатных валков эти значения обычно превышают принятые в машиностроении и $p$ доходит до 500 $кг/см^2$, а $pv$ до 2000 $кг/см^2 \cdot м/сек$.

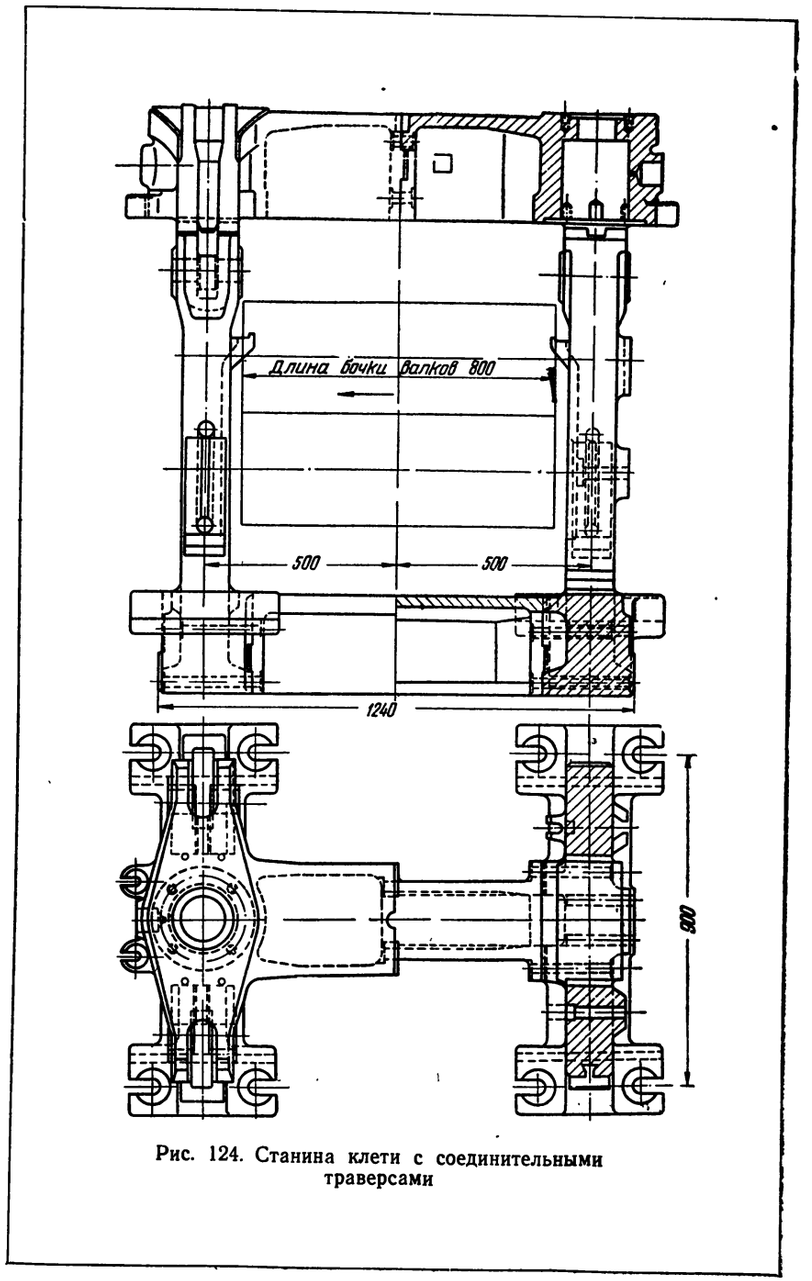



Рис. 124. Станина клети с соединительными траверсами

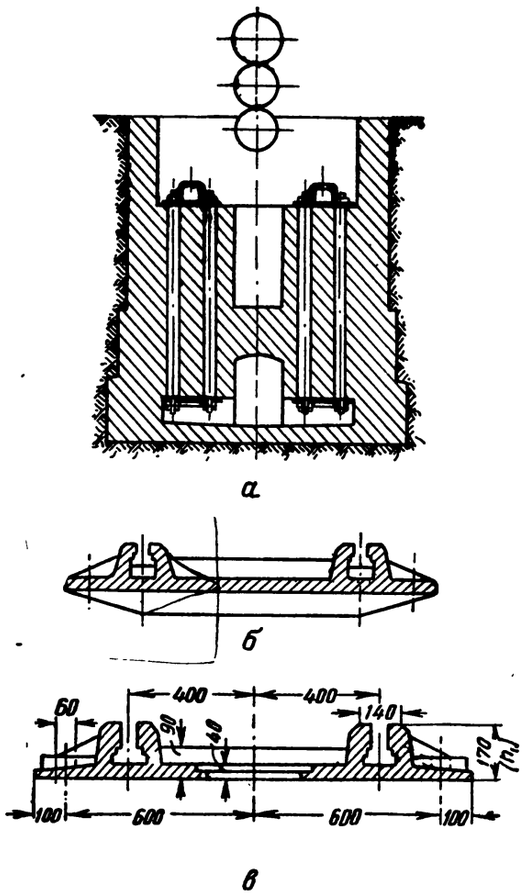



Рис. 125. Фундаментные линейки:

*а* — фундамент с линейками; *б* и *в* — типы фундаментных плитовин



Учитывая это, при проектировании открытых вкладышей особое внимание уделяют их искусственному охлаждению, отведению тепла путем обильной поливки шеек валков водой, надежной смазке (густое масло или специальные смеси, иногда в виде специальных брикетов). Недостаточная и ненадлежащая смазка влечет за собою излишнюю затрату энергии, излишний расход средств на смазку, излишний расход вкладышей, большой износ шеек, нарушение точности прокатки.

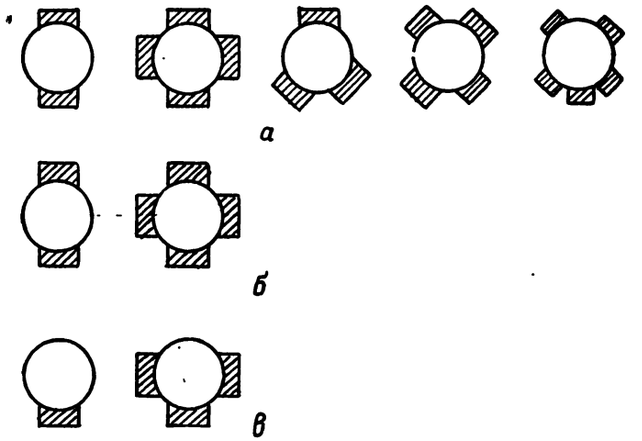



Рис. 126. Установка вкладышей скольжения в подушках прокатных клетей:

*а* — верхний валок; *б* — средний валок; *в* — нижний валок

Диаметр и длина шеек прокатных валков в каждой прокатной клети конструктивно ограничены и зависят главным образом от $D$ . Взаимная установка вкладышей, их число у каждой шейки могут быть различны (рис. 126).

Боковые вкладыши предназначены для восприятия горизонтальных усилий, появляющихся иногда при прокатке (захват).

По режиму работы различают работу на горячих шейках (до 300°) и на холодных (30 ÷ 80°). Холодный режим работы при горячей прокатке зависит от интенсивности охлаждения шеек водой. При холодном режиме производится прокатка сорта, обжим слитков и прокатка толстых листов. При прокатке тонких листов, жести и кровельного железа бочка валков и шейки водой не охлаждаются, работа ведется при горячем режиме.

В борьбе за экономию материалов в последние 20÷30 лет бронза (для вкладышей) стала заменяться для мелкосортных и проволочных станов деревом (белая акация, граб, бук, самшит), для среднесортных станов — металлизированным деревом;

хорошим материалом для вкладышей служит пластмасса (текстолит, пластифицированная древесина).

Из текстолита вкладыши выполняются наборными и цельнопрессованными. В наборных вкладышах из плит текстолита выпиливаются отдельные элементы, которые набираются в специальные кассеты (рис. 127).

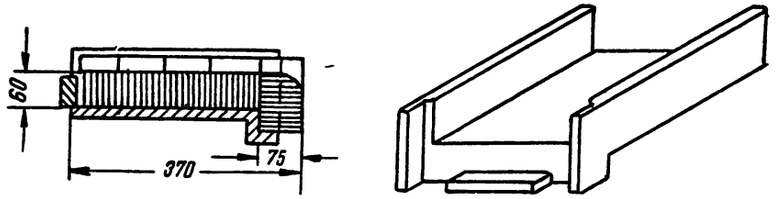



Рис. 127. Кассета для наборки текстолитовых вкладышей

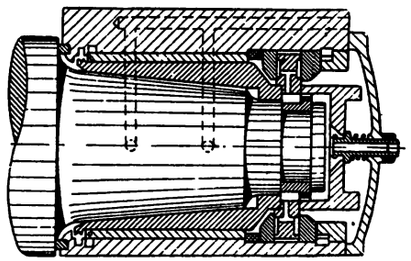


Рис. 128. Подшипник жидкостного трения

К положительным качествам текстолитовых вкладышей следует отнести долговечность их работы при правильной эксплуатации (небольшой износ), малый коэффициент трения (для прокатных валков коэффициент трения для текстолитовых вкладышей принимается равным 0,03—0,05 против 0,075—0,1 для бронзовых вкладышей) и, наконец, отсутствие смазки маслом. Смазка осуществляется чистой водой.

Пластифицированная древесина является, так же как и текстолит, пластмассой, но не на тканевой, а на древесной основе.

Подшипники жидкостного трения. Этот тип подшипников имеет коэффициент трения почти такой же, как у роликовых подшипников ($f = 0{,}002 - 0{,}003$), вследствие чего не требует охлаждения шеек водой. Они применяются вместо роликовых подшипников у опорных валков четырехвалковых станов. Конструкция подшипника приведена на рис. 128. Неразъемный наружный вкладыш изготовляется из стали или бронзы и внутри заливается кадмиевым баббитом. Внутреннее стальное кольцо наглухо посажено на коническую шейку. При проектировании этих подшипников особое внимание уделяется правильному установлению мест подвода и отвода смазки, давлению масла (1,0—1,5 *атм*) и качеству смазки (особенно ее надлежащей вязкости).



Роликовые подшипники. Роликовые подшипники за последнее время применяются все чаще не только для мелкосортных и проволочных станов, но и для более крупных валков — опорных и рабочих.

Подшипники с цилиндрическими роликами требуют для восприятия осевых усилий установки специальных упорных шариковых подшипников, необходимость в которых при конических роликовых подшипниках отпадает. Обычно роликовые подшипники у прокатных клетей устанавливаются двухрядные по одному или по два на каждую шейку. Основное преимущество этих подшипников — низкий коэффициент трения ($f = 0{,}002—0{,}003$). К недостаткам следует отнести большой их габарит.

## 42. Нажимные и уравновешивающие устройства для верхнего валка

Для сближения осей верхнего и нижележащего валков (нижнего в клети дуо и среднего — в клети трио) и для передачи давления верхнего валка станинам служат нажимной винт и нажимная гайка. Обычно нажимная гайка жестко устанавливается

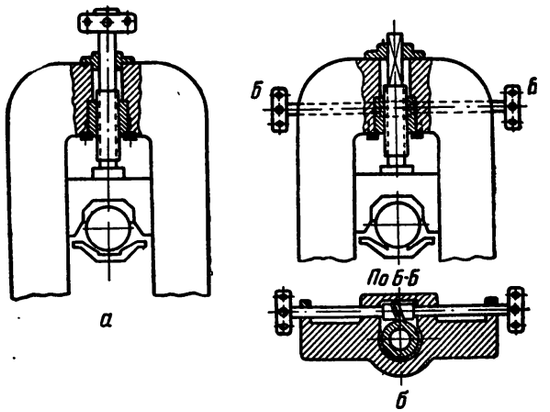



Рис. 129. Установка нажимной гайки в верхней поперечине станины:

*а* — жесткая установка; *б* — вращающаяся гайка

в верхней поперечине станины и через нее пропускается нажимной винт (рис. 129).

В отдельных конструкциях гайка вращается, а нажимной винт имеет только поступательное движение (рис. 129, *б*).

Винт изготовляется из кованой стали, гайка — из бронзы. Нарезка обычно одноходовая. Двухходовая нарезка применяется у клетей, в которых скорость перемещения верхнего валка должна быть большая (25 *мм/сек*). Раньше форма резьбы была очень разнообразна (квадратная, полукруглая, упорная). В настоящее время наиболее распространенной является упорная стандартная резьба (рис 130) (ОСТ ВКС 7739, 7740 и 7741).

В листовых клетях, где требуется точная установка валков, шаг применяется более мелкий (нормальная или мелкая нарезка).

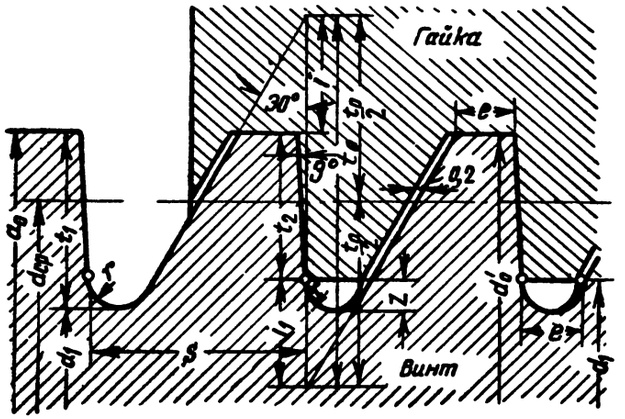



Рис. 130. Упорная резьба

В клетях с небольшим подъемом верхнего валка уравновешивание его веса осуществляется посредством пружин (см. рис. 121). Этот тип уравновешивания вполне пригоден для всех сортовых клетей с небольшим подъемом верхнего валка. Для дуо реверсивных клетей (блуминги, слябинги, толстолистовые клети), где верхний валок поднимается на значительную высоту (750 1600 *мм*), уравновешивание достигается посредством специальных уравновешивающих устройств: грузового, гидравлического, электрического.

Грузовое уравновешивание надежно в работе и просто по выполнению (рис. 131), во время эксплуатации не требует особого ухода.

При гидравлическом уравновешивании вес перемещаемых деталей уравновешивается давлением воды в гидравлических цилиндрах (рис. 132, 133).

Главным минусом гидравлического уравновешивания является возможность замерзания воды в трубопроводах (зависимость от климатических условий). Кроме того, гидравлическое устройство

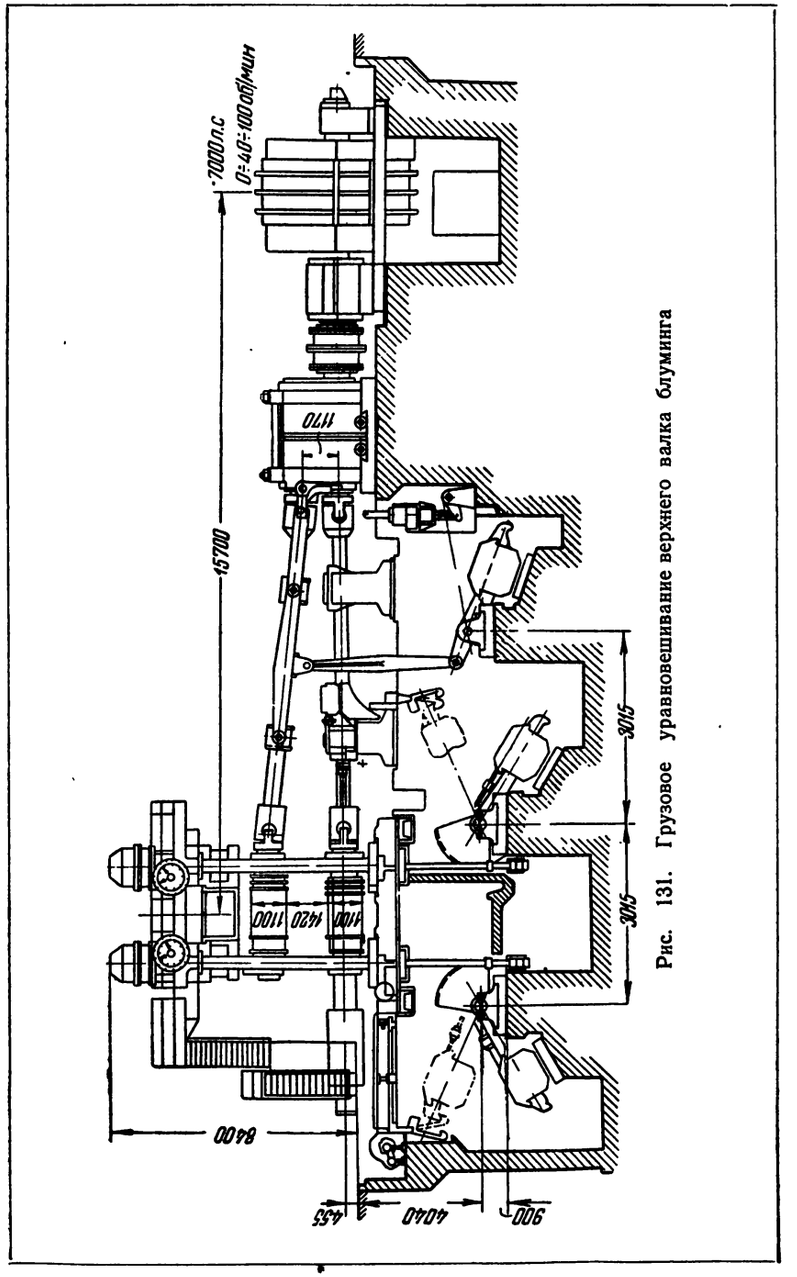



Рис. 131. Грузовое уравновешивание верхнего валка блуминга

требует установки громоздкого гидравлического аккумулятора и насоса высокого давления.

Наибольшее распространение в настоящее время получило уравновешивание верхнего валка при помощи механизма для привода нажимных винтов. В данном случае при опускании и подъеме нажимных винтов подушка всегда следует точно за нажимным

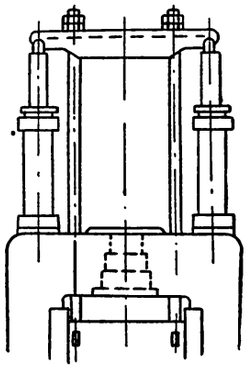


Рис. 132. Гидравлическое уравновешивание верхнего валка цилиндрами, установленными на станинах

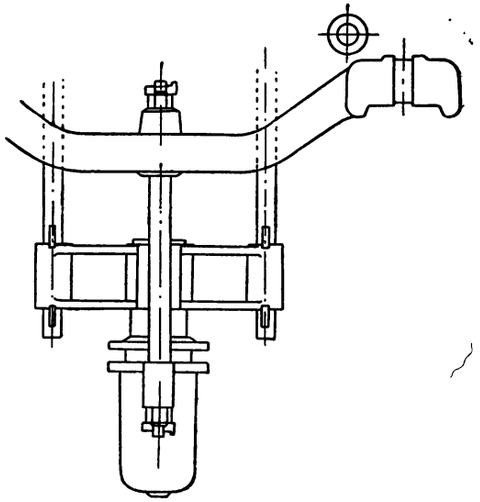


Рис. 133. Гидравлическое уравновешивание верхнего валка двумя цилиндрами, установленными под станинами

винтом (рис. 134), что достигается путем установки обратного винта на червячном колесе, приводящем в движение нажимной винт. Обратный винт имеет шаг одинаковый с шагом нажимного винта, но с противоположной нарезкой, благодаря чему движение подушки полностью согласовано с движением нажимного винта и валок постоянно следует за нажимными винтами. Наличие пружин на траверсе обратного винта обеспечивает постоянное прижатие предохранительного стакана к нажимному винту. В этой конструкции вес движущихся частей передается на опоры червячного колеса.

Привод нажимных винтов осуществляется как вручную, так и от двигателя. В сортопрокатных обжимных, черновых и чистовых клетях валки имеют постоянную установку, во время работы их не приходится после каждого пропуска сближать или раздвигать (приходится производить только иногда их регулировку для уточнения толщины прокатываемой полосы, компенсации износа



валков и вкладышей скольжения и т. д.). В этом случае достаточно иметь возможность регулировать положение каждого отдельного нажимного винта. У клетей с изменяющимся положением валков во время прокатки необходимо иметь возможность и самостоятельной установки валков.

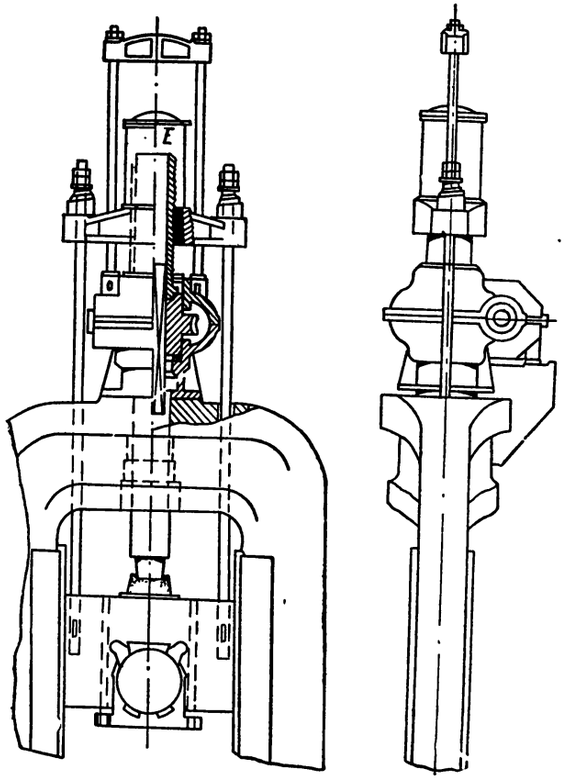


Рис. 134. Механическое уравновешивание верхнего валка

Обычно у блумингов, слябингов, универсальных клетей, толстолистовых клетей и в клетях кварто устанавливается механический привод одновременно обоих нажимных валков с возможностью привода отдельно каждого нажимного винта. У тонколистовых клетей дуо устанавливается общий для обоих винтов электрический или ручной привод, с возможностью индивидуального привода отдельно каждого винта. У сортовых станов обычно устанавливается ручной привод отдельно для каждого винта.

У мелкосортных невысоких клетей (до 1250 *мм* от уровня пола) поворот нажимного винта осуществляется посредством ключа, жестко надеваемого на свободный конец нажимного винта (рис. 135). У более высоких клетей конец ключа должен быть загнут книзу (рис. 136).

У тонколистовых клетей дуо одновременный привод обоих винтов осуществляется посредством штурвалов и конических передач (рис. 137). Наличие муфты между штурвалами позволяет в случае необходимости регулировать положение нажимных винтов самостоятельно — в отдельности один от другого. В последнее время привод нажимных винтов тонколистовых клетей дуо электрифицируется.

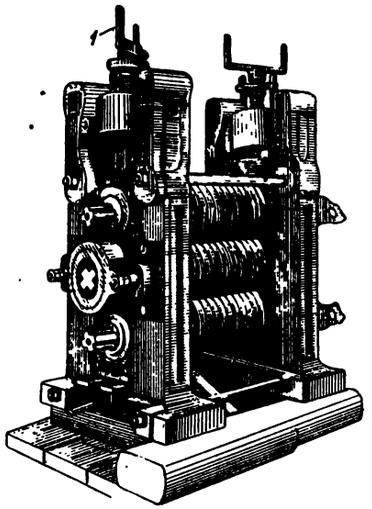


Рис. 135. Ключ для поворота нажимного винта клети мелкосортного стана

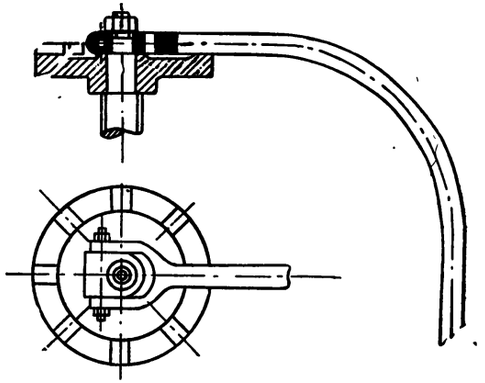


Рис. 136. Ключ для поворота нажимного винта

В тяжелых станах привод осуществляется от электродвигателя постоянного тока. Привод нажимных винтов осуществляется посредством червячной или конической передачи (рис. 138). Между двигателями и нажимными винтами вводится муфта, обеспечивающая вращение только одного винта при неподвижности другого.

Установочные механизмы могут быть быстроходными ($v_{под} = 80 \div 150$ *мм/сек*) и тихоходными ($v_{под} = 0{,}02 \div 1$ *мм/сек*). У блюминга и слябинга перед задачей нового слитка верхний валок приходится поднимать на большую высоту (до 1600 *мм*), чтобы не задерживать процесса прокатки; этот подъем необходимо производить быстро.

При прокатке толстых листов необходимо иметь возможность регулировать скорость перемещения валков, работая с большими скоростями при тол-

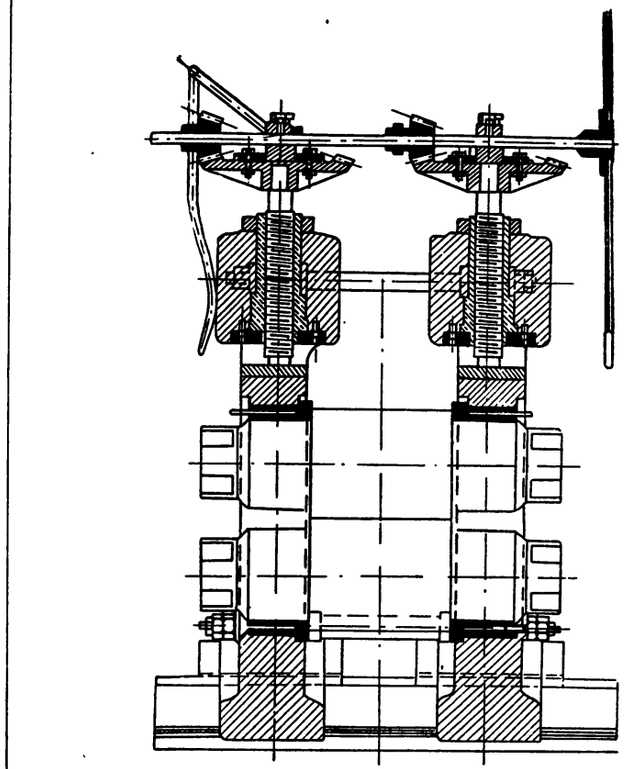
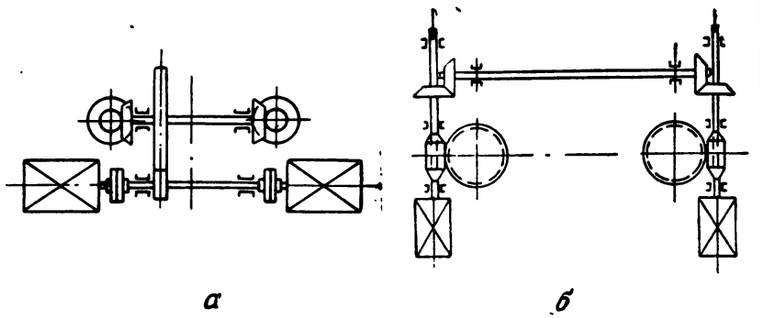


Рис. 137. Привод нажимных винтов у тонколистовой клети дуо



*а* *б*

Рис. 138. Схемы привода нажимных винтов блюминга:
*а* — посредством цилиндрических и конических шестерен; *б* — посредством конических шестерен и червячной передачи

стой полосе и с меньшими — при тонкой. Для регулировки скорости установки верхнего валка передача движения к нажимным винтам от двигателя осуществляется через дифференциальный редуктор.

Предохранительные стаканы и коробки. Для предупреждения валков от поломки между нажимными винтами и верхней подушкой верхнего валка устанавливаются специальные предохранительные детали, которые ломаются, когда давление на шейку валка становится опасным для валка. Эти устройства называются предохранительными стаканами и изготовляются обыкновенно из чугуна (рис. 139).

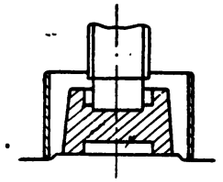


Рис. 139. Предохранительный стакан

Чтобы при разрушении стакана его осколки не разлетелись в стороны, обычно у стакана устанавливаются кожухи из листового железа.

В последнее время у тяжелых станов вместо предохранительных стаканов устанавливаются предохранительные коробки, которые выполняются из пяти частей (рис. 140): верхнего клина, двух нижних клиньев и

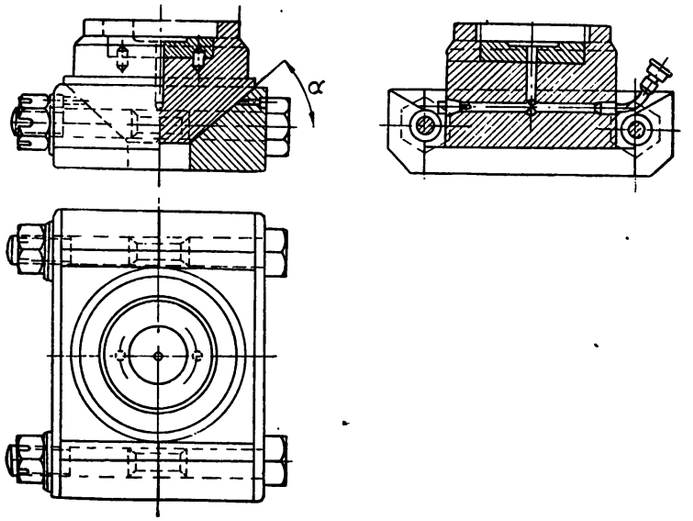



Рис. 140. Предохранительная коробка

двух болтов, стягивающих нижние клинья. При достижении максимального усилия болты должны разрываться.



## 43. Устройства для регулирования положения нижнего и установки среднего валков. Осевая регулировка валков

В клетях дуо нижний валок устанавливается обычно в неподвижных опорах, для правильной установки валков широко применяются прокладки.

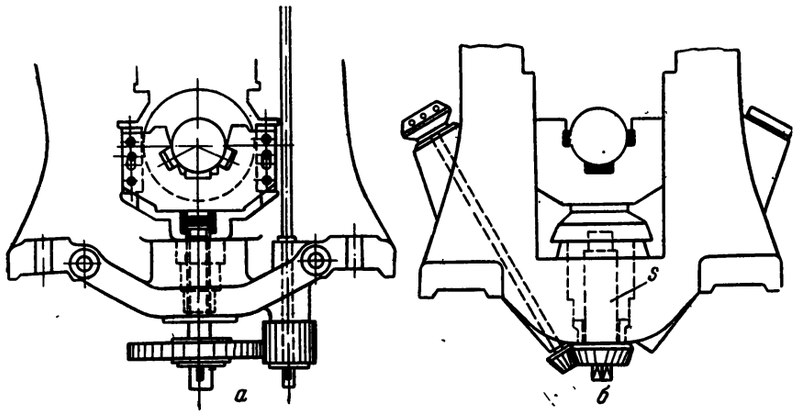



Рис. 141. Регулировка положения нижнего валка посредством нажимных винтов:

*а* — с цилиндрической передачей; *б* — с конической передачей

В клетях трио с постоянной установкой среднего валка для правильной установки нижнего валка применяется специальное регулирующее устройство в виде нажимного винта, либо клиновое.

При винтовом нижнем нажимном устройстве применяется цилиндрическая или коническая передача (рис. 141), и стакан под нижнюю подушку образует телескопический затвор. Нижние нажимные винты нашли применение в крупносортных клетях, в обжимных клетях сортовых станов.

Клиновое устройство для регулировки положения нижнего валка более просто. Оно бывает двух типов: с поперечным клином в отношении оси валка (рис. 142) и с продольным клином (рис. 143).

Средний валок в сортовых клетях трио устанавливается жестко, без возможности регулировки положения его оси во время работы в вертикальной плоскости. При наличии у станин внутри окна опорных приливов нижняя подушка устанавливается непосредственно на нижних приливах, верхняя же входит в просвет окна свободно и для ее крепления закладываются установочные клинья (см. рис. 121).

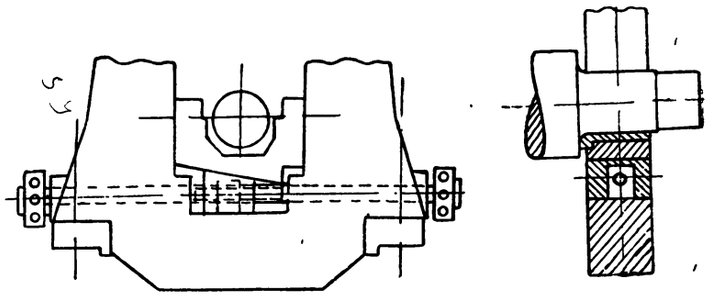


Рис 142. Регулировка положения нижнего валка при помощи поперечного клина

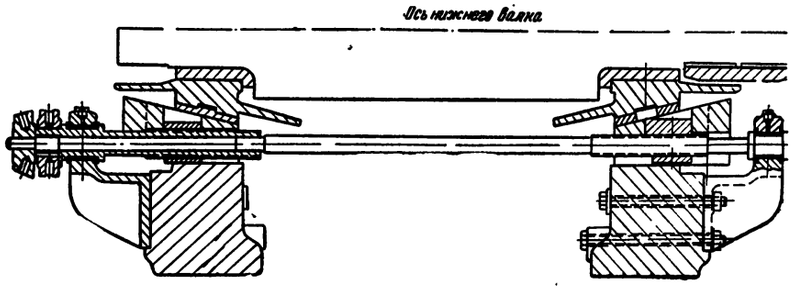



Рис. 143. Регулировка положения нижнего валка при помощи продольных клиньев

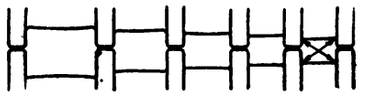


Рис. 144. Правильная установка валка

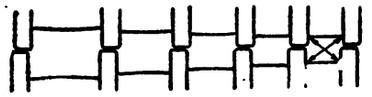


Рис. 145. Неправильная установка валка (сдвиг валка в осевом направлении)

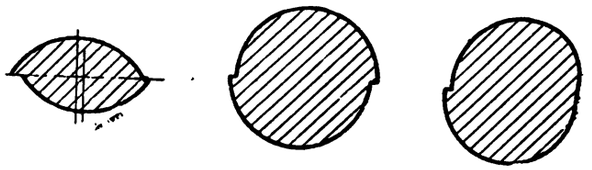


Рис. 146. Брак из-за неправильной осевой установки валков

Очень важное значение в сортовых станах имеет правильная установка валков в осевом направлении. При неточной осевой установке получается неправильный профиль и прокатанный материал идет в брак (рис. 144, 145, 146). При тяжелых подушках (блюминги, слябинги) проще и легче осуществить осевое перемещение валка путем перемещения вкладышей, что достигается болтами, проходящими через специальные фланцы вкладышей (рис. 147). Осевое перемещение валков у более мелких станов достигается продольным перемещением самих подушек, что осуществляется различными способами (рис. 148). Значительный



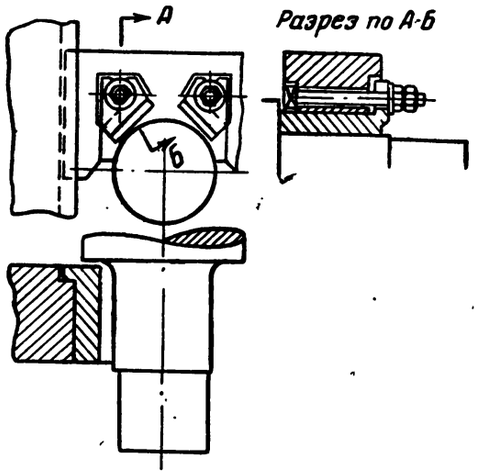



Рис. 147. Осевая регулировка валков вкладышами

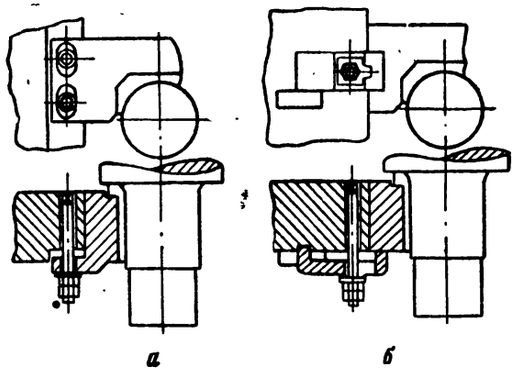



Рис. 148. Осевая регулировка валков подушками:
*а* — посредством фланцев подушек; *б* — посредством скоб

высотный подъем подушки требует применения длинных планок (линеек) (рис. 149).

## 44. Устройства для смены валков

Валки в прокатной клети сменяются при их износе, поломке и в случае необходимости установки валков с иной калибровкой.

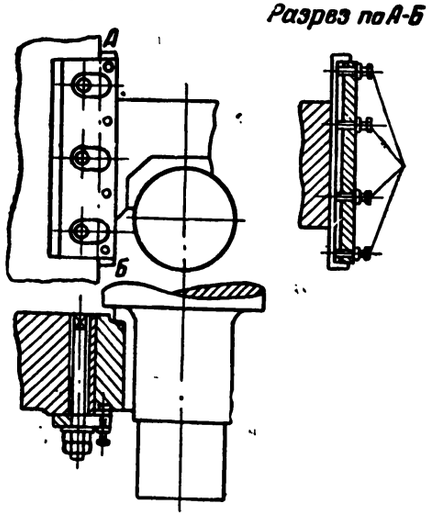



Рис. 149 Осевая регулировка валков при их большом подъеме посредством планок

Порядок смены валков зависит от типа прокатных клетей (станины закрытого или открытого типа) и от типа стана (с одной или несколькими прокатными клетями, расположенными в одну линию).

Если клети открытого типа, то после отсоединения соединительных шпинделей и муфт, необходимо удалить верхние поперечины и через проемы краном в последовательном порядке удалить предохранительные стаканы, верхние подушки и подвески верхнего валка, верхний валок, нижний валок и нижнюю подушку нижнего валка.

При закрытых клетях смена валков производится за счет вывода их на переднюю или заднюю сторону стана.

У всех новых станов предусматривается для перемены валков мостовой кран, который используется также и для других работ.

Во время смены валков особое внимание следует обратить на то, чтобы предохранить шейки валков, калибры, трефы и бурты валков от повреждения. Валки необходимо предохранять от ударного воздействия и во время их транспортировки. Во время смены валков установочные устройства для осевой регулировки валков должны быть ослаблены, а в некоторых случаях разобраны.

У многих современных станов смена валков осуществляется сменой всей клети. Для этого во время работы стана в стороне, на особом стенде, новые валки собираются в запасных клетях.

Этот способ перемены валков очень эффективен в отношении экономии времени, но требует наличия запасных прокатных клетей и более мощных кранов.



При наличии у стана только одной прокатной клети смену валков производят при помощи С-образной скобы, муфты или тележек. При всех этих трех способах выемка валков из клети производится за счет их продольного перемещения в сторону, противоположную установке двигателя, в свободную сторону клети.

С-образная скоба (рис. 150) подвешивается на крюке *1* главной тележки крана и уравновешивается от опрокидывания крюком *2* вспомогательной тележки крана. В уравновешенном состоянии скоба подводится к трефу валка. Треф входит в соответствующее углубление нижнего конца скобы *3*. После этого скоба немного приподнимается (приподнимая одновременно и валок) и валок выводится скобою через прорез станины в осевом направлении.

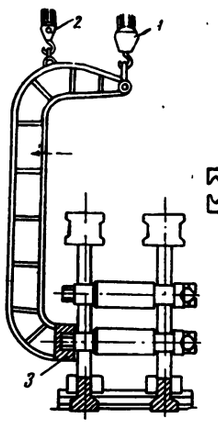



Рис. 150. Смена валков с помощью С-образной скобы

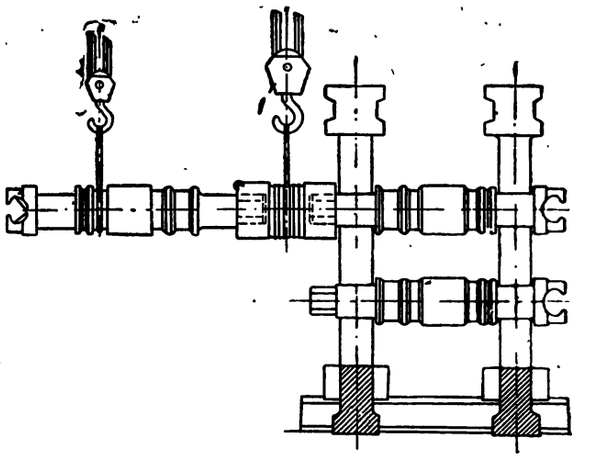


Рис. 151. Смена валков при помощи муфты

При перемене валков муфтой последняя захватывается главным крюком крана *1* (рис. 151), подводится к новому валку и одевается на его треф. Новый валок захватывается вторым канатом, подвешенным на том же крюке, и вся система подводится сбоку к прокатной клети, где второй свободный конец муфты одевается на треф валка. После этого оба валка могут быть легко приподняты муфтой, старый валок выведен из клети, муфта повернута на 180° вокруг вертикальной оси на крюке главной тележки крана и в обратном порядке в клеть заложен новый валок, а изношенный отведен в сторону.

При смене валков тележкой, последняя по особым путям заводится внутрь клети, захватывает валки и выдвигает их из клети.

## 45. Шестеренная клеть

На рис. 152, *а*, *б*, *в*, *г* приводятся кинематические схемы главных шестерен.

Так как число оборотов валков должно быть одинаково, то передаточное число у главных шестерен $i = 1{,}0$.

Основными узлами шестеренной клети являются: главные шестерни, шестеренная станина, опоры для шеек шестерен (подушки, залитые баббитом), соединительные детали.

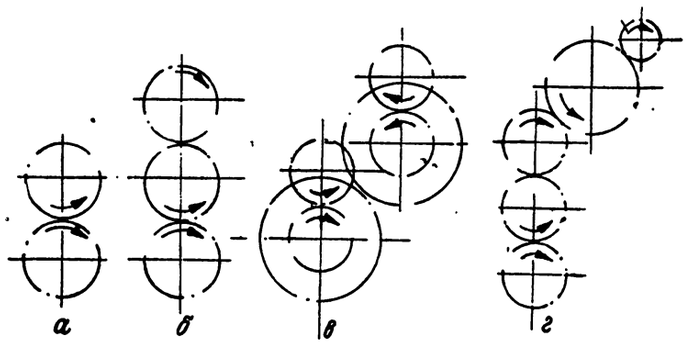



Рис. 152. Кинематическая схема главных шестерен

Главные шестерни обычно имеют форму, показанную на рис. 153. Так же как и у нормального прокатного валка, зубчатый венец шейки и трефы изготовляются как одно целое.

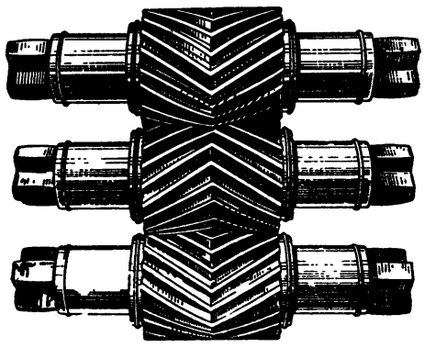


Рис. 153. Главные шестерни с шевронным зубом

Рабочей частью главных шестерен является рабочий венец.

Крутящий момент, передаваемый главными шестернями, значителен (у блюминга $M_{дв}$ доходит до 500 *тм*), диаметр же шестерен исполнять чрезмерно большим нецелесообразно (у блюминга $D_{н.о}$ шестерен 1300 ÷ 1000 *мм*), поэтому количество зубцов небольшое, шаг же и модуль значительны. Зубцы должны быть большими по размерам, и форма зубцов должна обеспечить плавность передачи.

Диаметры прокатных валков при переточке меняются, диаметры же начальных окружностей главных шестерен остаются неизменными, поэтому угол наклона шпинделей, соединяющих главные шестерни с валками, меняется.



Чем больше угол наклона шпинделя, тем хуже условия работы соединений (муфта — соединительный шпиндель, муфта — треф прокатного валка и главной шестерни). Для более благоприятных условий работы соединения угол уклона шпинделя от горизонтали кверху и книзу должен быть одинаков и для стана дуо

$$D_{н.о} = \frac{D^{н}_{н} + D^{п}_{н}}{2}, \qquad (126)$$

где $D_{н.о}$ — диаметр начальной окружности главных шестерен;
$D^{н}_{н}$ — номинальный диаметр новых валков;
$D^{п}_{н}$ — то же после последней переточки.

Для станов дуо с большим подъемом верхнего валка диаметр начальной окружности шестерен выбирается из среднего расстояния между осями валков при проходах с наибольшим расходом работы.

Обычно

$$D_{н.о} = D^{н}_{н} + (100 \div 200)\ мм. \qquad (127)$$

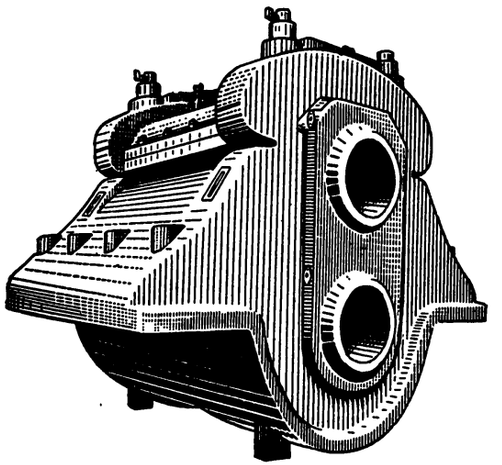


Рис. 154. Установка шестеренной клети непосредственно на фундаменте

Внизу станины шестеренной клети отливаются лапы, которыми шестеренная станина устанавливается на фундаментных линейках. Для большей жесткости установки шестеренных клетей на основании иногда размеры лап сильно увеличивают и они устанавливаются непосредственно на фундаменте (обычно при $D_{н.о} > 700$ *мм*) (рис. 154).

Достаточная и непрерывная смазка зубьев и шеек главных шестерен является залогом их правильной работы, долговечности и небольшого расхода

энергии. Зубцы требуют более густой смазки, а шейки более жидкой и чистой смазки. Поэтому часто применяемая раздельная смазка зубцов и шеек вполне обоснована.

Для создания непрерывности подачи смазки последняя после фильтрования поступает из сборника на зубцы шестерни и смазывает их, после чего собирается в нижней части шестеренной коробки, откуда откачивается насосом, проходит через фильтр в сборник и вновь начинает свой кругооборот. Точно таким же образом происходит циркуляция смазки шеек шестерен по своей циркуляционной системе.

Иногда для упрощения применяют не раздельную, а общую смазку. В этом случае осложняется конструкция верхнего сборника, так как для шеек требуется более чистое масло и его приходится подвергать двойной фильтрации, в то время как смазка зубьев может иметь место после одной очистки.

Для лучшей смазки зубьев шестерен часто предусматривается смазка зубьев в месте их вхождения в зацепление посредством разбрызгивания смазки через отверстия специальной трубки. В эту трубку смазка поступает самотеком из верхнего резервуара. Подвод смазки должен осуществляться в направлении вращения шестерен.

Надежная смазка обеспечивает срок службы шестерен до 5 лет (при условии точного и правильного их изготовления), в то время как недостаточная смазка может вывести шестерни из строя через несколько месяцев.

Перезаливка баббитом подушек проводится раз в год во время капитального ремонта.

## 46. Главные редукторы стана

В настоящее время главные редукторы стана выполняются из зубчатых (цилиндрических и конических) колес. Ременную и канатную передачи можно встретить только в старых установках.

Зубчатые редукторы благодаря большим успехам советского редукторостроения обладают высоким коэффициентом полезного действия: 95—98%, надежностью в работе, требуют небольших эксплуатационных расходов, незначительного ремонта.

Иногда главные редукторы должны обеспечить определенное направление вращения валков, одновременно приводимых ими во вращение и расположенных в отдельных прокатных клетях.

Кинематические схемы редукторов показаны на рис. 155.

Зубчатые передачи должны быть расположены в герметически закрытых корпусах, состоящих из основной литой или сварной рамы, нижнего днища и верхней крышки сварной конструкции (рис. 156). Корпус жестко устанавливается на фундаменте. При работе с маховиками они насаживаются на валу ведущей шестерни по обе стороны редуктора.

## 47. Соединительные устройства

Для соединения двигателя с валом ведущей шестерни редуктора (см. рис. 102) или с валом маховика, и вала ведомой шестерни редуктора или вала маховика с главной шестерней шестеренной клети, устанавливаются главные муфты.

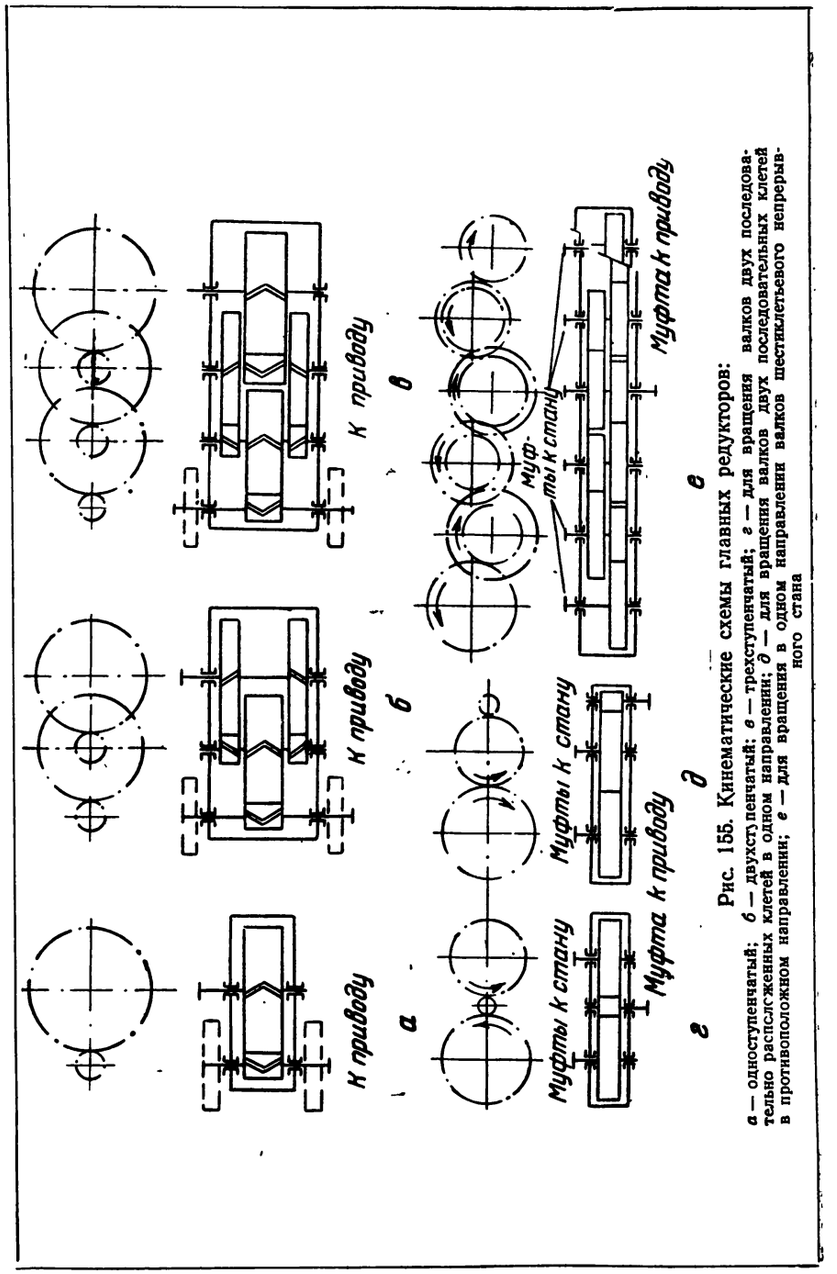
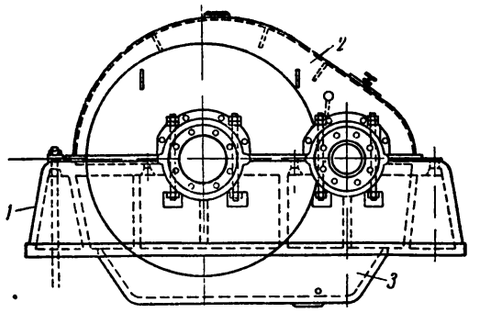



Рис. 155. Кинематические схемы главных редукторов:
*а* — одноступенчатый; *б* — двухступенчатый; *в* — трехступенчатый; *г* — для вращения валков двух последовательно расположенных клетей в одном направлении; *д* — для вращения валков двух последовательных клетей в противоположном направлении; *е* — для вращения в одном направлении валков шестиклетьевого непрерывного стана



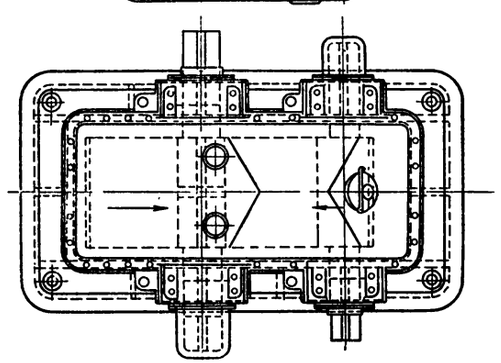



Рис. 156. Рама и кожух одноступенчатого редуктора

*1* — рама; *2* — верхняя крышка; *3* — днище

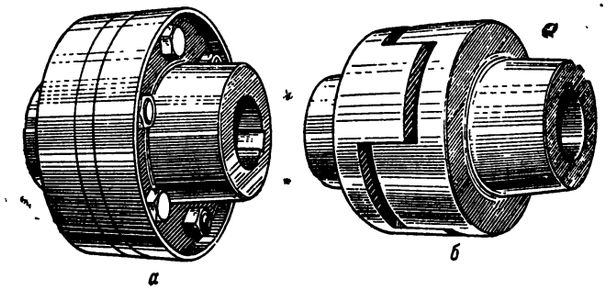



Рис. 157. Жесткая муфта:

*а* — тарельчатая; *б* — кулачковая



По своему назначению главные муфты могут быть: жесткими (глухими), упругими, предохранительными, компенсирующими и включающими.

Жесткие муфты применяются в том случае, когда расстояние между валом двигателя или редуктора и главной шестерней настолько велико, что приходится устанавливать соединительный вал, состоящий из нескольких частей. Жесткие муфты находят применение также в случае, когда конец вала должен быть сменным (рис. 157).

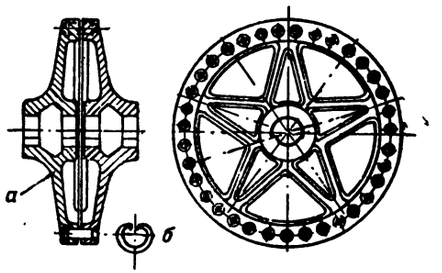



Рис. 158. Пальцевая муфта:

*а* — муфта; *б* — пружина для установки пальцев

Во время прокатки, особенно в тяжелых станах, имеют место сильные удары, которые вредно отзываются на редукторе и двигателе. Наличие маховика частично их смягчает. Упругая муфта имеет целью смягчить удары на двигатель и редуктор. У прокатных станов применяются пальцевые (рис. 158) или пружинные

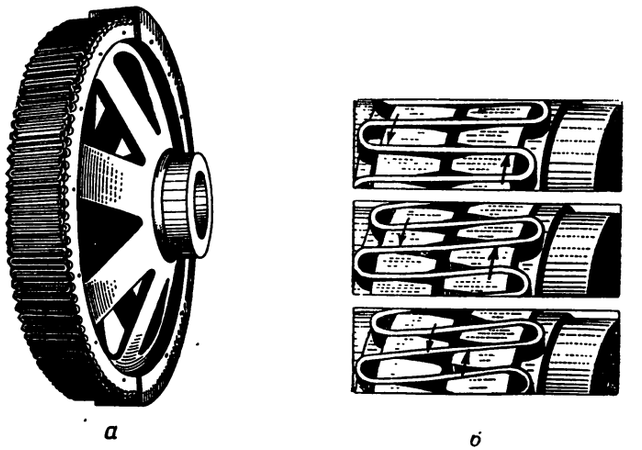



Рис. 159. Пружинная главная муфта:

*а* — общий вид; *б* — форма зубцов

(рис. 159) упругие муфты. У пальцевых муфт на концы соединяемых валов насаживаются по диску. В ободе дисков высвер-

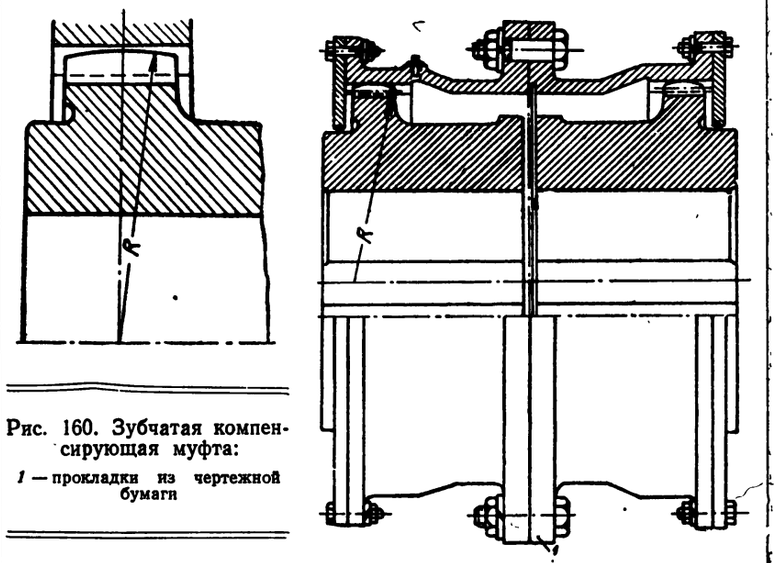



Рис. 160. Зубчатая компенсирующая муфта:

*1* — прокладки из чертежной бумаги

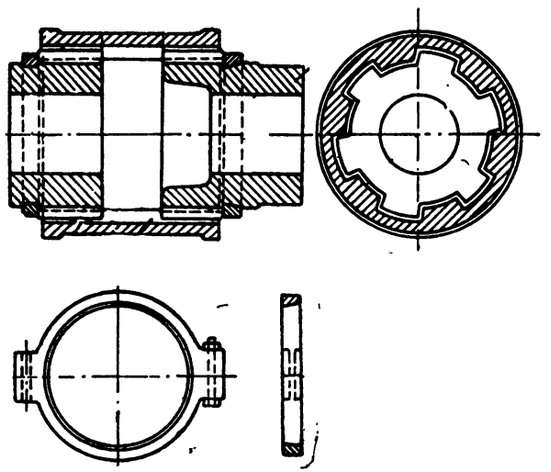


Рис. 161. Предохранительная главная муфта



ливаются один или два ряда отверстий, в которые вставляются деревянные (из дуба), кожаные или резиновые соединительные стержни, предохраняемые от выпадания пружинными кольцами.

Пружинные муфты являются наиболее распространенными и часто применяемыми. Они изготовляются с одним или двумя рядами пружин. Основными их преимуществами сравнительно с пальцевыми муфтами являются высокая эластичность и меньшие размеры.

Из компенсирующих муфт наиболее широкое применение за последнее время получили зубчатые муфты (рис. 160). Эта муфта состоит из двух зубчатых полумуфт с внешними зубцами, закрепленными на концах соединяемых валов. Наружный кожух с внутренними зубчатыми венцами по бокам, соединяет обе полумуфты. Зубчатая муфта данного типа допускает значительные перекосы валов.

Для предохранения стана от аварии самой муфте иногда уделяется роль предохранительной детали. При превышении максимального значения крутящего момента муфта должна сломаться ранее, чем другая, более ответственная, деталь стана.

На рис. 161 дана такая предохранительная муфта (полумуфты с внешними зубцами соединяются зубчатым кожухом, который при перегрузке должен ломаться).

Для соединения между собою прокатных валков, находящихся в отдельных клетях (станы линейного типа) и для соединения главных шестерен с валками рядом расположенной клети при малом вертикальном подъеме валков применяются соединительные шпиндели и соединительные муфты (рис. 162 и 163). Обе муфты могут быть сдвинуты с трефов на соединительный шпин-

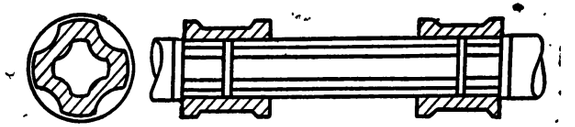


Рис. 162. Соединительный шпиндель и соединительная муфта

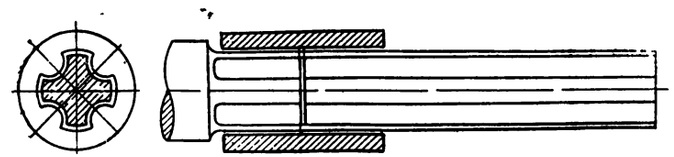


Рис. 163. Соединительная муфта

дель. Для подхвата шпинделя тросом крана должно быть оставлено расстояние 50 *мм*, следовательно:

$$l_{ш} = 2l_{м} + 50 \text{ мм}, \quad (128)$$

где $l_{ш}$ — длина шпинделя, *мм*;
$l_{м}$ — длина муфты, *мм*.

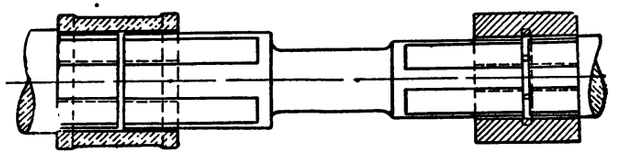


Рис. 164. Удлиненный соединительный шпиндель без опоры

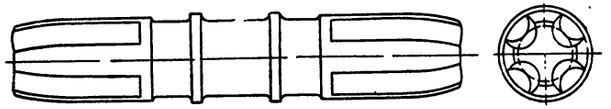


Рис. 165. Удлиненный соединительный шпиндель с опорой и закругленными концами

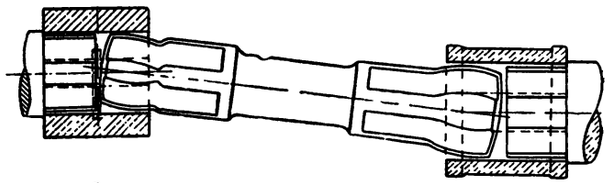


Рис. 166. Соединительный шпиндель с округленными трефами

При собранном стане половина муфты находится на шпинделе, а другая половина — на трефе прокатного валка. Между торцами шпинделя и трефа для обеспечения свободной заводки и выводки шпинделя с муфтами оставляют зазор 15—20 *мм*:

$$l_{м} = 2l_{т} + 15 \div 20 \text{ мм}, \quad (129)$$

где $l_{т}$ — длина нарезанной части трефа.

Иногда в силу тех или иных причин длина шпинделя увеличивается (рис. 164). При большой разнице высот соединяемых деталей концы соединительных валков закругляются (рис. 165). Для предохранения от поломки шпинделей и муфт при большой разности высот осей соединяемых деталей им придают округленную форму (рис. 166).

В крупных станах тяжелые шпиндели и муфты уравновешиваются в опорах пружинами (рис. 167), грузовым (рис. 168) или

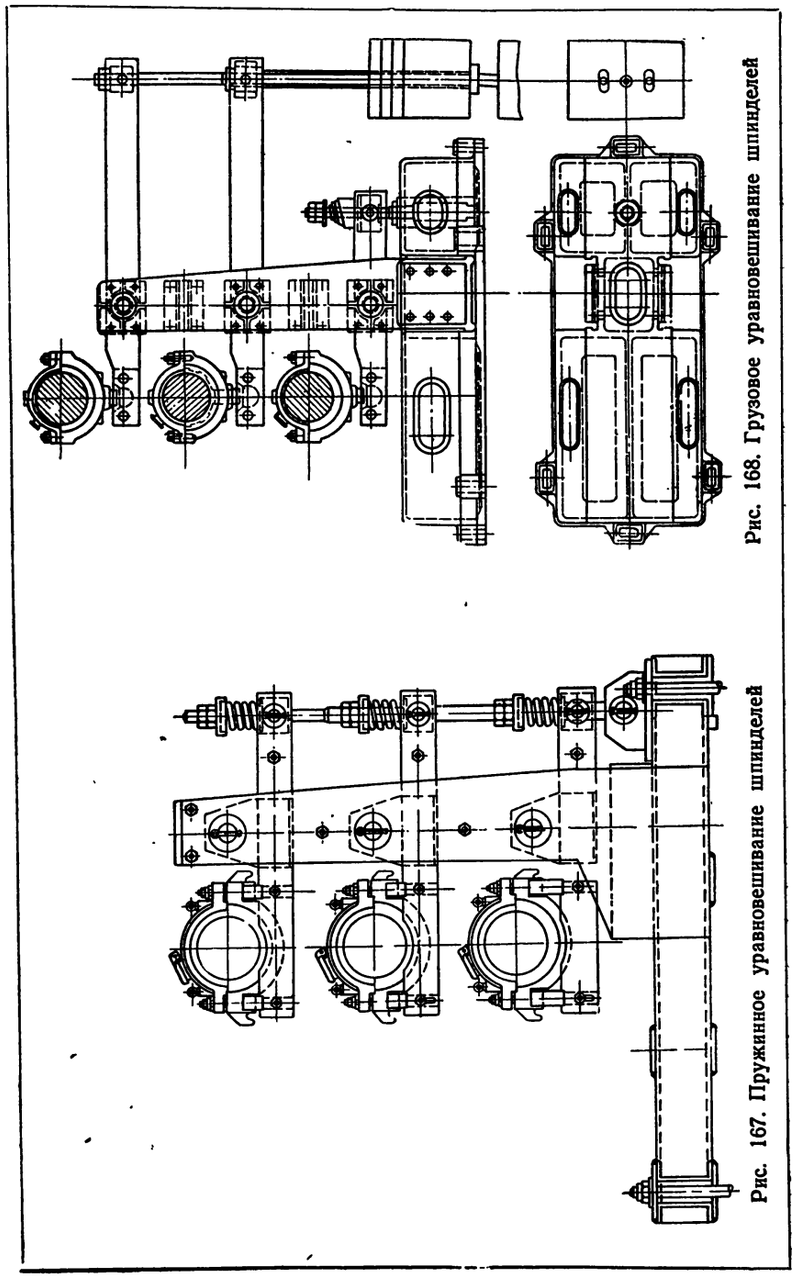


Рис. 168. Грузовое уравновешивание шпинделей

Рис. 167. Пружинное уравновешивание шпинделей

гидравлическим способами. Шпиндели обычно отливаются из стали, муфты из чугуна; в некоторых случаях муфты играют роль предохранительных деталей.

При значительном подъеме одной из соединенных деталей (валков) трефовое соединение заменяется шарнирным (блюминги, слябинги, универсальные и толстолистовые станы дуо);

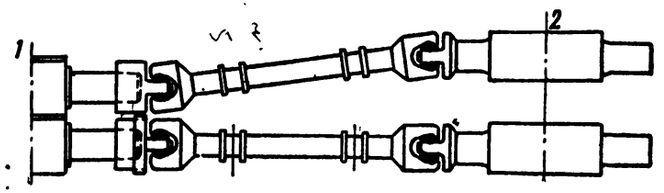



Рис. 169. Установка шарнирных шпинделей:
*1* — ось шестеренной клети; *2* — ось рабочей клети

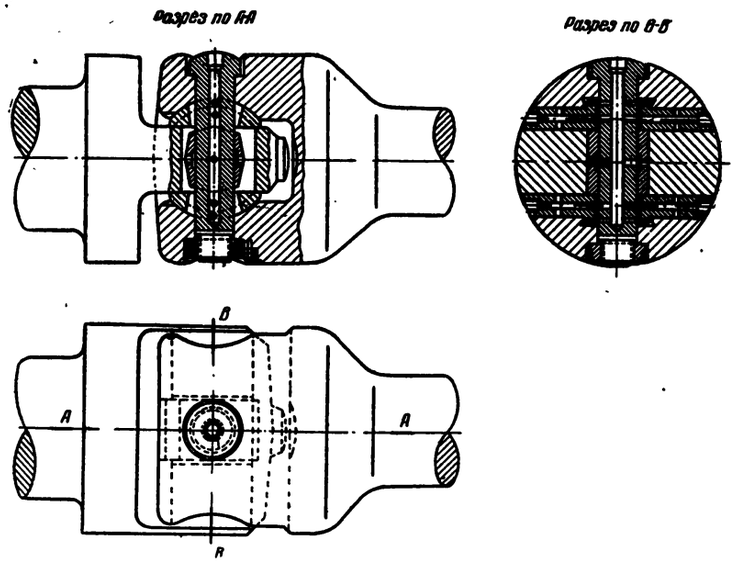



Рис. 170. Головка шарнирного соединительного шпинделя

эти соединения применяются также вместо главной муфты. Конструкция шарнирного шпинделя такова, что его общий угол отклонения может доходить до 10°. Устройство, примененное на советском слябинге, показано на рис. 169 и 170.

У современных шарнирных шпинделей всех типов (рис. 170) треф у валка и шестерни выполняется в виде лопасти, на которую



с обеих сторон накладывают по бронзовому вкладышу с полусферической внешней поверхностью, которую, в свою очередь, охватывает вилка шарнирного шпинделя (головка).

Лопасти в одних случаях изготовляются заодно с валками и главными шестернями, а в других случаях для упрощения изготовления валков и главных шестерен лопасти изготовляются самостоятельно и насаживаются на цилиндрический конец вала или шестерни в горячем состоянии.

При небольших крутящих моментах иногда концы шпинделя выполняются в виде лопасти, а насадным частям на валки и шестерни придается форма вилки.

Отличительной особенностью шарнирных шпинделей является отсутствие зазоров в местах соединения, что очень положительно отражается на работе стана и двигателя.

## *Глава X*

# ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

### 48. Назначение, виды и конструкции вспомогательных машин

Прокатанный на стане продукт проходит в прокатном же цехе операции отделки: правку, фрезеровку торцов у рельсов и сверление дыр на их концах, разрезку на требуемые длины, обрезку листов по длине и ширине, свертывание катанки в бунты, сматывание широкополосной стали в рулоны, нарезка концов труб и т. п. Все эти операции механизированы и производятся на специальных вспомогательных машинах. Некоторые промежуточные операции, связанные с технологическим процессом, дублирование и др., также выполняются вспомогательными машинами. В зависимости от условий производства вспомогательное оборудование по своему виду, типу и конструкции очень обширно и разнообразно. В табл. 7 приведены основные виды вспомогательного оборудования и его назначение. Все вспомогательное оборудование в прокатных цехах в настоящее время приводится в действие от электродвигателей.

### 49. Машины для разрезывания прокатанного продукта

Разрезывание прокатанного продукта на мерные длины, обрезка переднего и заднего концов и обрезка боковых кромок у листа производится на ножницах и пилах.

Резка пилами применяется в том случае, когда плоскость реза должна быть прямой. При резке ножницами плоскость реза всегда получается несколько смятой.

*Таблица 7*

**Перечень вспомогательного оборудования прокатных цехов**

| Наименование вспомогательного оборудования | Назначение |
|---|---|
| 1. Ножницы с параллельным расположением режущих кромок ножей | Для резки блумов, слябов, заготовки, простых сортовых профилей |
| 2. Ножницы с косым расположением режущих кромок ножей | Для резки листового металла |
| 3. Дисковые ножницы | Для обрезки продольных кромок листа и ленты и их продольной разрезки на ходу |
| 4. Летучие ножницы | Для поперечной резки прокатываемой полосы во время движения ее |
| 5. Дисковые пилы горячей резки | Для поперечной резки прокатанной полосы |
| 6. Правильные прессы и правильные машины | Для правки прокатанного продукта |
| 7. Моталки | Для свертывания катанки в бунты |
| 8. Свертывающие машины | Для свертывания прокатанной полосы в рулоны |
| 9. Дублеры | Для загиба прокатываемого листа при прокатке на 180° |
| 10. Раздирочные машины | Для отделения отдельных листов пакета друг от друга |
| 11. Холодильники | Для правильного охлаждения прокатанных полос |

Резка прокатанного продукта производится как в горячем, так и в холодном состоянии. При резке в горячем состоянии усилие резания понижается (рис. 171) по сравнению с резкой в холодном состоянии, однако при резке в холодном состоянии можно обеспечить более точные размеры обрезаемого материала.

Ножницы. Как видно из рис. 172, режущие кромки у ножей могут быть параллельны или наклонны друг к другу. У дисковых ножниц ножи имеют форму дисков (рис. 173).

Режущая кромка у нижнего ножа ножниц с наклонными режущими кромками обыкновенно устанавливается горизонтально, а у верхнего ножа наклонно. Наклон режущей кромки верхнего ножа обеспечивает постепенный рез листа по ширине. Угол уклона 2—5°. Для лучшего использования ножей им придается симметричная форма (рис. 174), которая позволяет использовать для реза все 4 кромки.

После соприкосновения ножей с поверхностями материала они начинают вдавливаться в него, и после вдавливания на определенную глубину в остальной плоскости реза возникает срез. При резке ножницами с параллельными ножами концы полосы сминаются (рис. 175).



Для устранения перекоса полосы во время разрезки устанавливается специально прижимное устройство.

Ножницы с подвижным верхним и неподвижным нижним ножом очень просты по своей конструкции, благодаря чему они получили широкое применение. Для регулировки числа резов на главном валу установлена выключающая муфта.

Для разрезания толстой полосы (блумов, слябов и т. п.) широко распространены ножницы, у которых оба ножа подвижные.

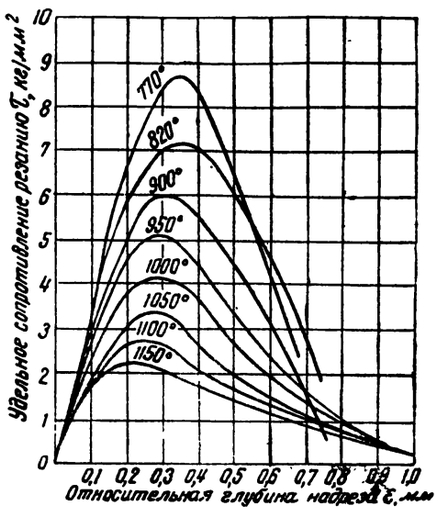



Рис. 171. Диаграмма усилий сопротивления резанию в горячем состоянии (Д. Я. Гуревич, А. И. Ирошников и А. И. Целиков)

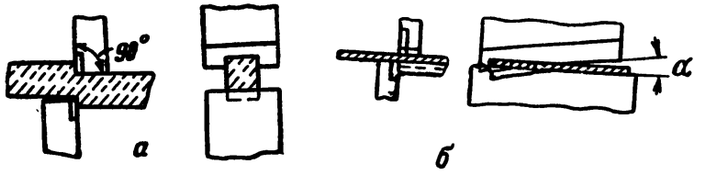



Рис. 172. Взаимное расположение кромок ножей у ножниц:
*а* — с параллельными режущими кромками, *б* — с наклонными режущими кромками

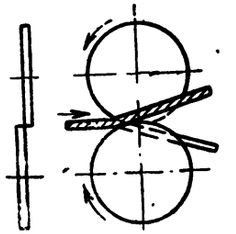


Рис. 173. Схема резки на дисковых ножницах

Рис. 174. Форма ножей у ножниц с параллельно расположенными режущими кромками

Существует довольно много разнообразных конструкций. Две из них показаны на рис. 176, *а* и *б*.

Эти ножницы не требуют частого ремонта и смены отдельных деталей, просто также их обслуживание.

Для более точной установки разрезаемой полосы по длине (длина отрезаемого куска) позади ножниц устанавливается механически передвигаемый качающийся упор, в который упирается

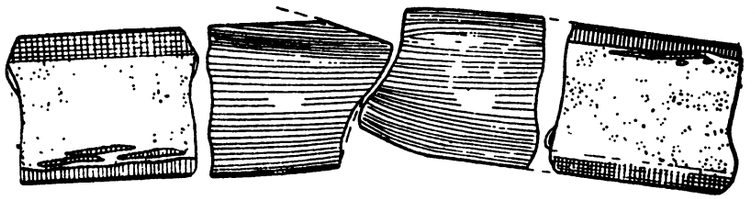


Рис. 175. Смятие концов при резке ножницами с параллельными ножами

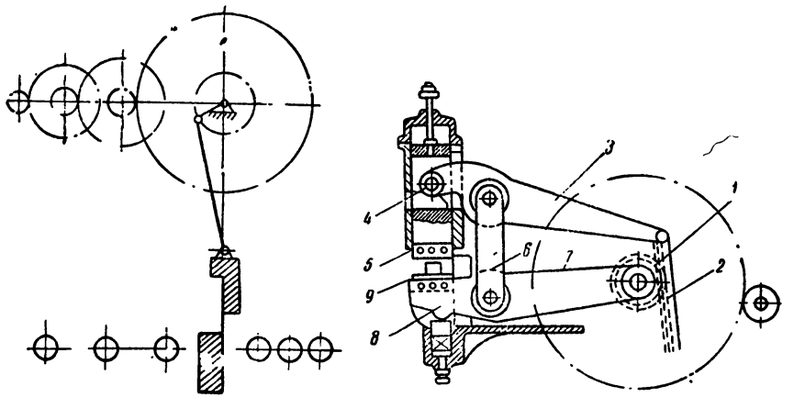



Рис. 176. Кинематические схемы ножниц для разрезки блумов

*а* — эксцентриковые ножницы; *б* — с зубчатой рейкой; *1* — шестерня; *2* — зубчатая рейка; *3* — верхний рычаг; *4* — шарнир верхнего суппорта; *5* — верхний нож; *7* — нижний рычаг; *8* — нижний суппорт; *9* — нижний нож

передний конец полосы: у ножниц тяжелого типа подъем и передвижение упора производятся от самостоятельных двигателей.

Для обрезки кромок и концов у листового проката устанавливаются ножницы с наклонными режущими кромками верхних ножей. У этих ножниц нижний нож с горизонтальной режущей кромкою крепится на неподвижном суппорте, верхний же нож крепится в подвижном суппорте. Ножницы снабжаются прижимом, который опускается и поднимается вместе с суппортом верхнего ножа (рис. 177).



Летучими ножницами называются такие, которые позволяют разрезать полосу на части и обрезать боковые кромки листов, не останавливая движения полосы, что позволяет лучше использовать возможную производительность собственно прокатного стана.

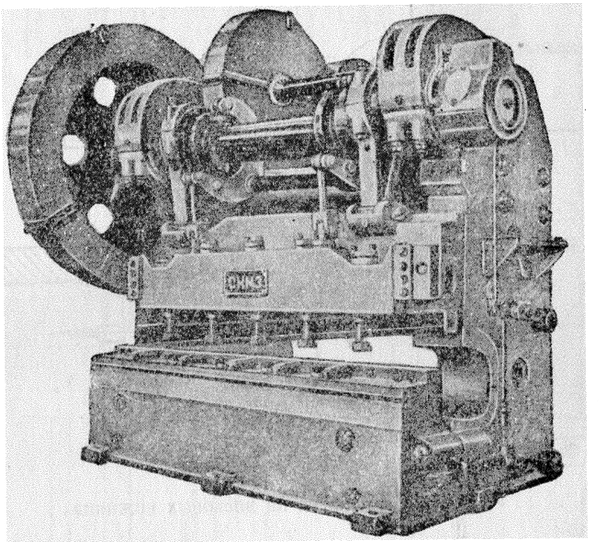


Рис. 177. Листовые ножницы

Для обрезки боковых кромок листа и для разрезки широких листов на узкие (продольная резка листа) применяются дисковые ножницы (рис. 178, 179). У ножниц этого типа оба ножа для обрезки каждой кромки выполняются в форме вращающегося диска, подача полосы в ножницы производится за счет трения, поэтому диаметр диска зависит от угла захвата $\alpha$, который можно принять не более 12—17°.

Диаметр диска выбирается в зависимости от толщины разрезаемого листа

$$\frac{H_л}{2} + \frac{e}{2} = R - R\cos\alpha, \qquad (130)$$

откуда

$$\frac{H_л + e}{2(1-\cos\alpha)} = R,$$

где $H_л$ — толщина разрезываемого листа, *мм*;
$e$ — величина захода ножей, *мм*;
$R$ — радиус диска ножа, *мм*;
$\alpha$ — угол захвата.

Угол заострения при горячей резке 90°, при резке в холодном состоянии 75÷85°.

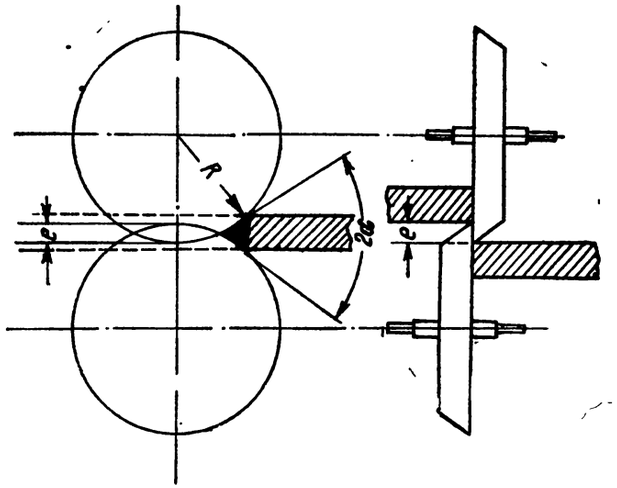



Рис. 178. Схема реза на дисковых ножницах

Длинные боковые кромки разрезаются на требуемые длины здесь же специальными кромкокрошителями.

Для разрезки длинной заготовки небольшого поперечного сечения, выпускаемой непрерывной группой, на более короткие части применяются рычажные летучие ножницы (рис. 180). Перед резом рычаги с ножами отведены в крайнее исходное положение с максимальным раскрытием. Ножи этих ножниц имеют два движения: вдоль оси полосы и вертикальное. Скорость продольного перемещения ножей равна скорости полосы, поэтому во время рабочего хода ножи движутся в осевом направлении одновременно с полосой без взаимного перемещения, как единое целое. Рез осуществляется во время рабочего хода благодаря встречному (вертикальному) движению ножей за счет поворота рычагов от пневматического или парового цилиндра.

Для разрезки тонколистового металла применяются двухбарабанные ножницы (рис. 181 а и б). У ножниц этого типа окружная скорость ножей должна быть немного (2—3%) больше скорости полосы. При каждом обороте барабанов ножи сходятся и разрезают полосу поперек.

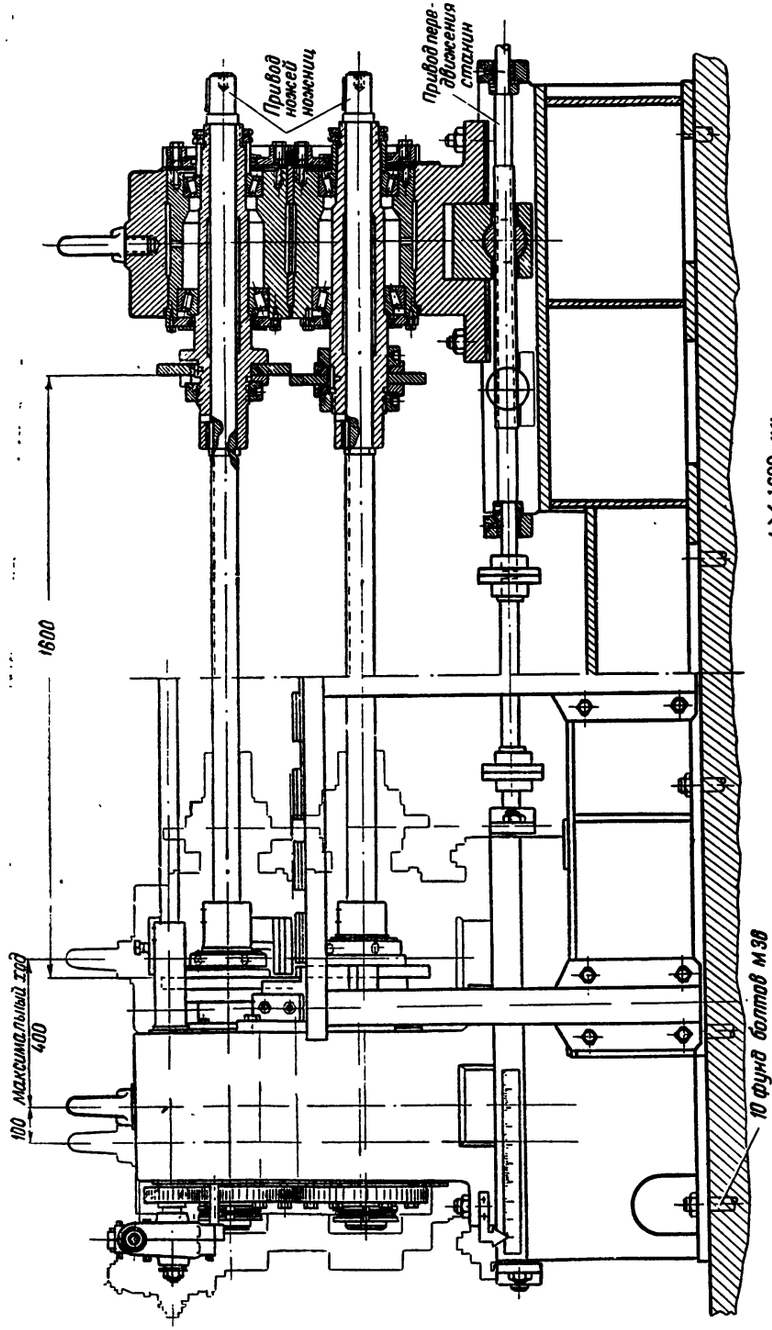



Рис. 179. Общий вид дисковых ножниц 4×1600 *мм*

Наконец, для разрезки мелкосортного проката применяются однодисковые ножницы (рис. 182). Окружная скорость диска этих ножниц немного больше скорости движения полосы. Полоса проходит по жолобу диска; ножи выходят в жолоб диска и, смыкаясь, режут полосу.

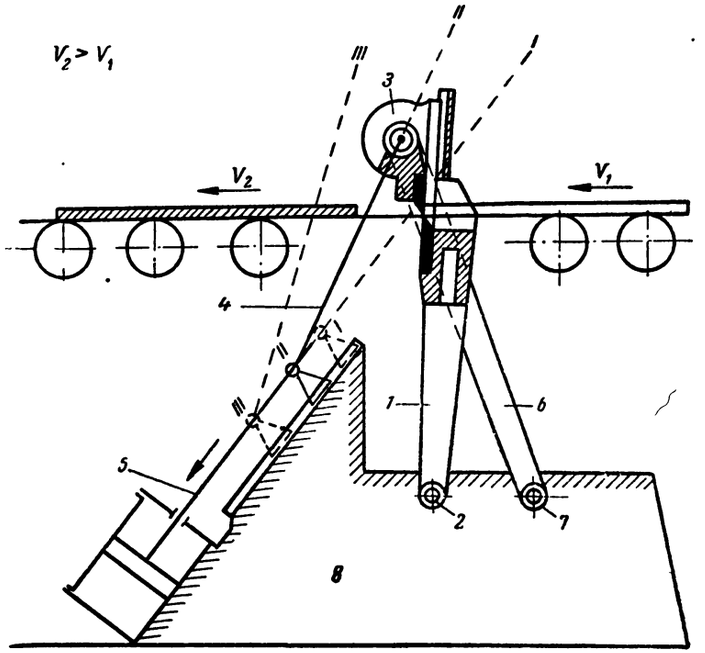



Рис. 180. Схема рычажных качающихся летучих ножниц:

*1* — рычаг с нижним ножом; *2* — ось рычага; *3* — шарнир ползуна; *4* — шатун ползуна *5* — шток цилиндра; *6* — тяга ползуна; *7* - ось тяги; *8* — корпус станины *I* — положение шатуна перед резкой металла; *II* — положение шатуна во время резки металла; *III* — положение шатуна после резки металла

П и л ы. Пилы применяются преимущественно для разрезания крупных фасонных профилей (рельсов, балок, швеллеров, угловой стали, шпунта и т. д.). При резке этих профилей на ножницах концы сильно сминаются. При резке пилами рез получается ровный, перпендикулярный к оси полосы. Пилами обычно полоса разрезается в горячем состоянии. Рабочий инструмент пилы — зубчатый или гладкий цилиндрический диск. Зубцы у диска встречаются разной формы (рис. 183). У пил с гладким диском рез происходит вследствие нагрева разрезаемого металла от трения

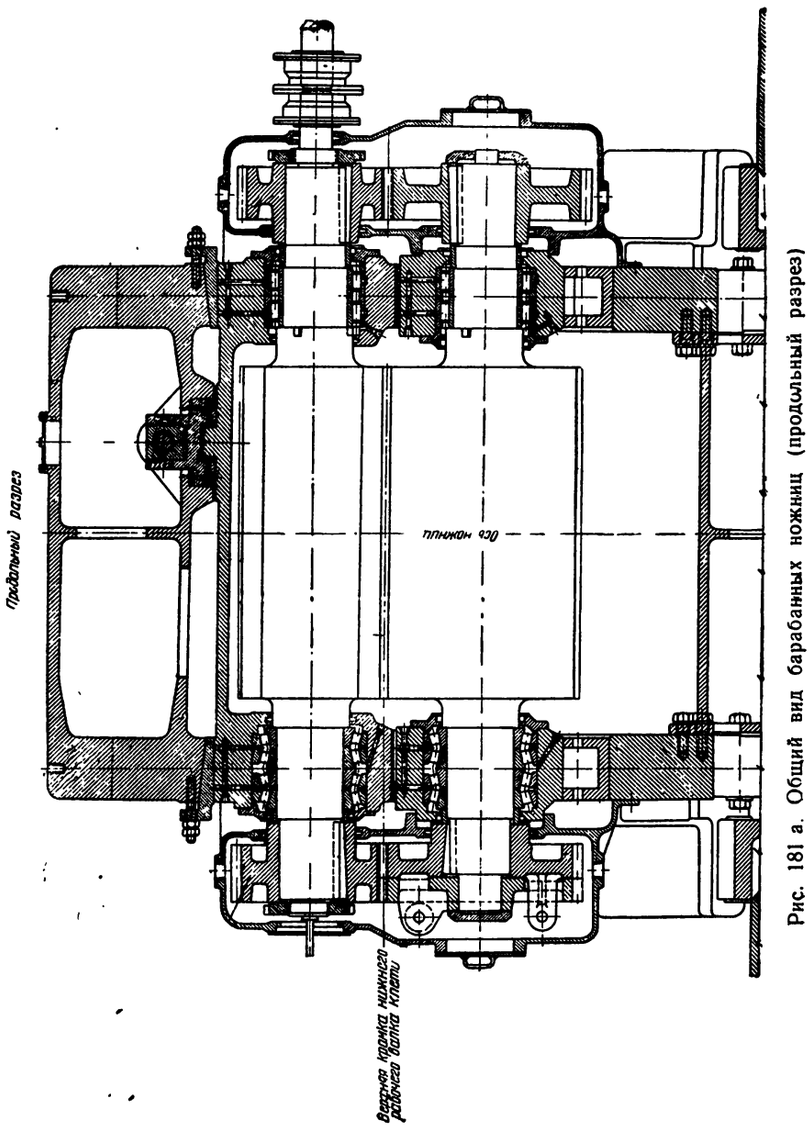



Рис. 181 а. Общий вид барабанных ножниц (продольный разрез)

быстро вращающегося диска до температуры плавления. Для разрезания горячей полосы в прокатном цехе устанавливаются пилы с зубчатыми дисками. Диаметр диска от 800 до 2 300 *мм* при толщине диска 6÷10 *мм*. Окружная скорость диска 90÷120 *м/сек*.

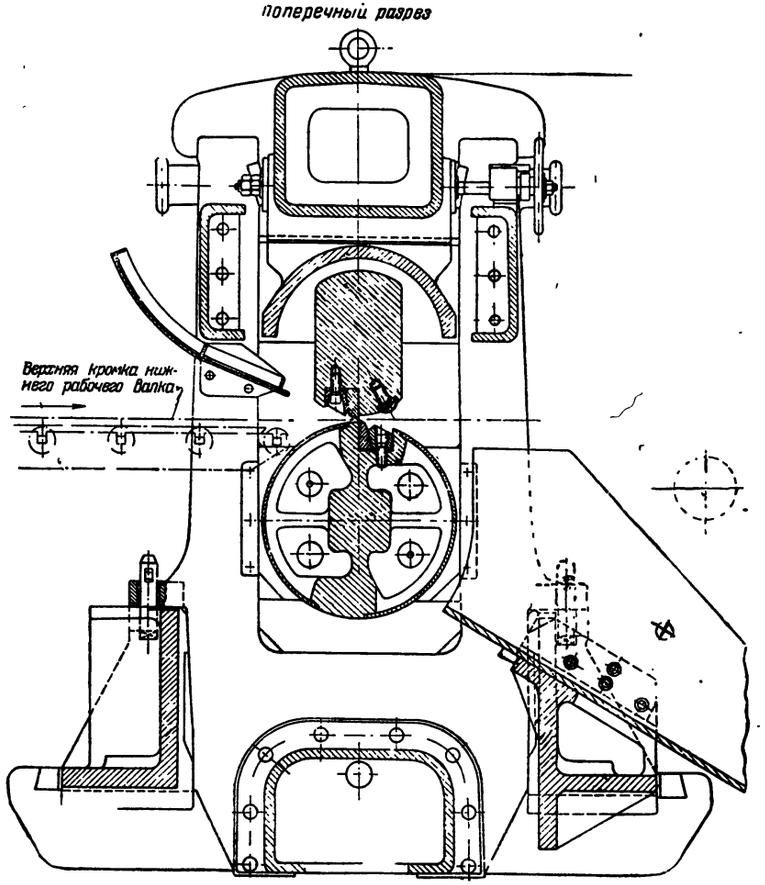



Рис. 181 б. Общий вид барабанных ножниц.

Производительность пил характеризуется площадью сечения, разрезаемого в секунду (2 000 ÷ 6 000 *мм²/сек*).

По конструкции пилы для горячей резки в настоящее время строятся преимущественно салазковые (рис. 184). Для ускорения процесса резки устанавливаются несколько пил по длине полосы,



что позволяет при одновременном ходе всех дисков сразу разрезать полосу на несколько частей. Для возможности регулировки

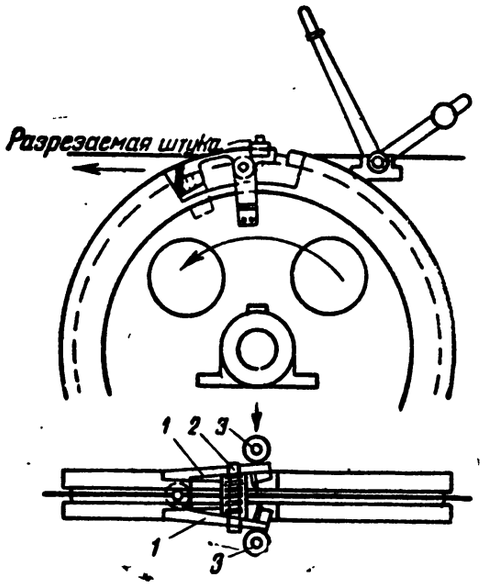



Рис. 182. Однодисковые летучие ножницы:
*1* — рычаги ножей; *2* — пружина; *3* — нажимные ролики

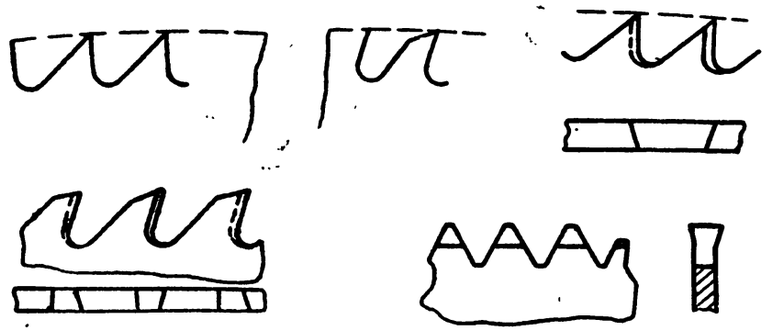


Рис. 183. Форма зуба дисковых пил

длины отрезаемых частей полосы станины устанавливаются не непосредственно на фундаменте, а передвигаются по направляющим, к которым они крепятся.

Диск пилы заключается в кожух для предупреждения несчастных случаев. Внутри кожуха к диску подводится вода для его охлаждения. При затуплении зубцов диски сменяются. Снятый диск поступает в переточку.

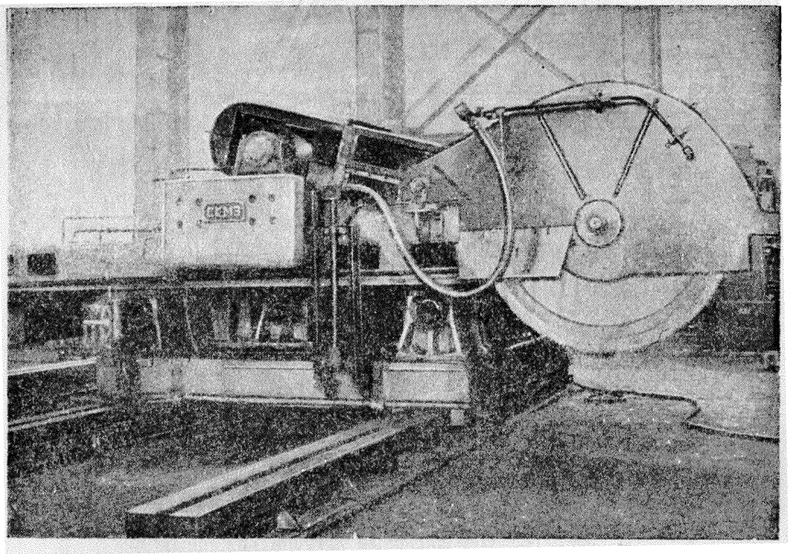


Рис. 184. Салазковые пилы

## 50. Машины для правки

Для правки прокатного продукта применяются главным образом роликоправильные машины и только в отдельных случаях (для доправки концов и отдельных не выправленных роликоправильной машиной участков) применяются правильные прессы. Роликоправильные машины имеют высокую производительность, почти полностью механизированы и обслуживаются небольшим количеством рабочих.

Роликовые правильные машины. Процесс правки в роликоправильных машинах заключается в том, что полоса последовательно проходит между двумя рядами шахматно расположенных приводных роликов (рис. 185) с горизонтальными осями.

Кривизна отдельных участков полосы, поступающей в правильную машину, различна по величине и направлению. Ролики устанавливаются таким образом, что при движении полосы между



ними места с мелкими изгибами уничтожаются и вместо них полоса получает постепенно затухающие крупные изгибы. Чем больше число роликов у машины, тем выше точность правки. Чем тоньше прокатываемая полоса, тем больше число роликов.

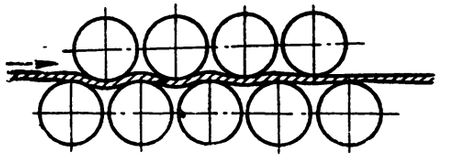


Рис. 185. Схема правки на роликоправильной машине

Для уменьшения напряжения изгиба роликов при холодной правке широких листов в правильной машине устанавливаются опорные ролики. Правильные машины выполняются двух типов: с обычными роликами, имеющими две опоры (правильные машины для правки листов и тяжелых профилей, рис. 186) и с консольными роликами (для правки легких профилей, рис. 187). Для регулировки вертикального положения осей роликов опоры верхних роликов подвижные — подъем и опускание осуществляются вручную от штурвала. Все ролики приводные от двигателя.

## 51. Моталки для катанки и свертывающие машины для рулонов

Для свертывания длинных полос катанки в бунты применяются моталки с неподвижным и подвижным барабаном. В моталках с неподвижным барабаном (рис. 188) катанка из последней клети проволочного стана поступает сверху по трубке в осевое отверстие вертикального вала и в нижней его части выходит в трубку, расположенную на внешней поверхности конуса, вращающегося вместе с пустотелым валом. Вышедшая из трубки катанка ложится витками на поддоны барабана, которые откидываются вниз после окончания сматывания, причем бунт падает на транспортер, движущийся вдоль фронта моталок. Так как из проволочно-прокатного стана одновременно выходит несколько полос, то с учетом времени на снятие бунта, у проволочно-прокатного стана устанавливается несколько моталок.

В современных установках моталки приводятся от самостоятельных двигателей с соблюдением необходимого отношения числа оборотов валков к числу оборотов привода моталок.

У моталок с вращающимся барабаном катанка непосредственно от прокатной клети по трубке поступает внутрь полого барабана (рис. 189). Барабан приводится во вращение от вертикально расположенного электродвигателя через зубчатую передачу и полый вал, установленный на подшипниках качения.

Во время намотки бунта катанка ложится кругами на крючки. Задний конец полосы вытягивается из трубки внутренним бара-

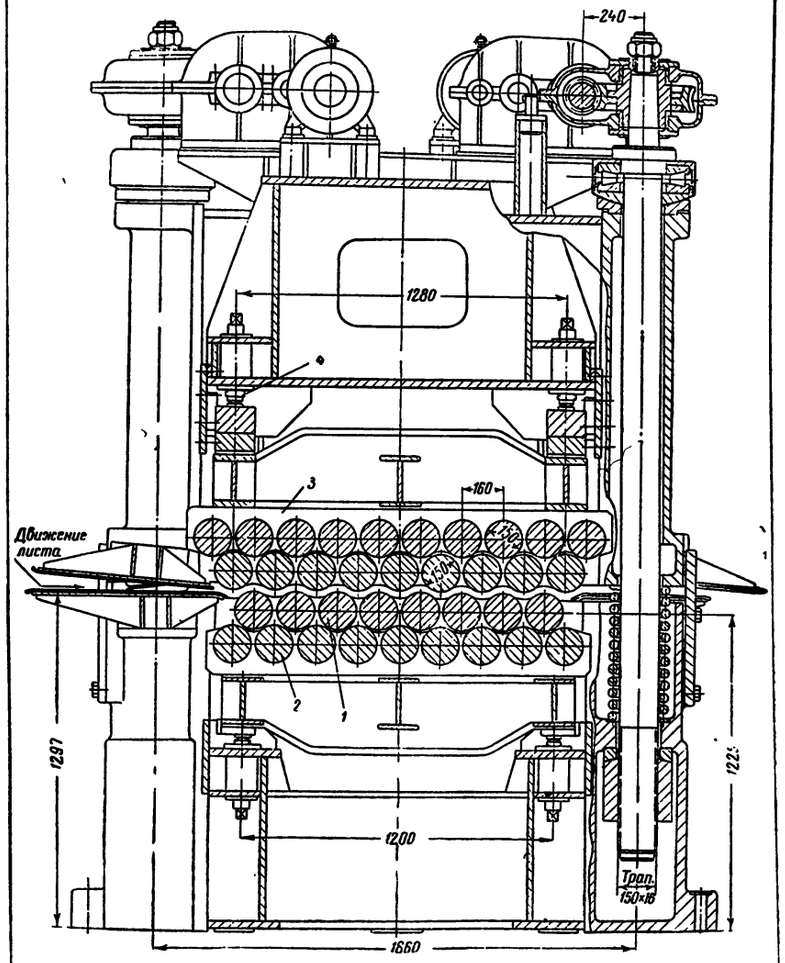



Рис. 186. Семнадцативалковая правильная машина

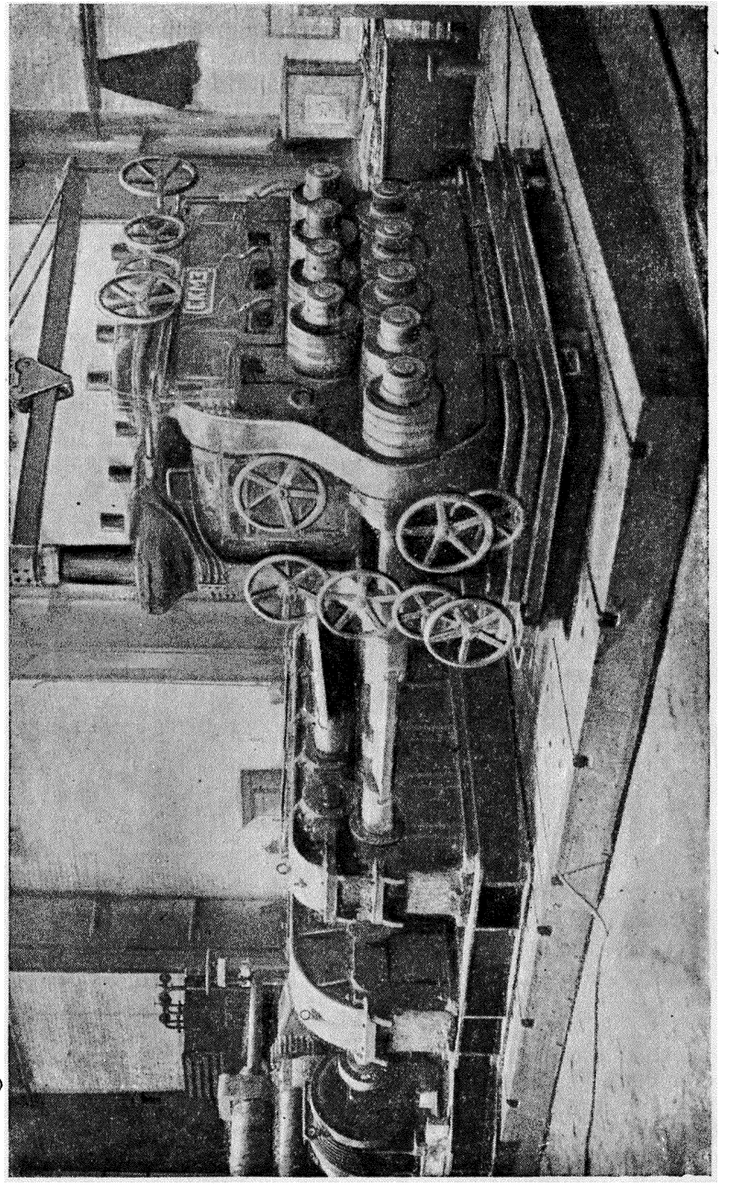


Рис. 187. Девятироликовая правильная машина с консольными роликами

баном, причем кожух, крючки и внутренний барабан во время намотки бунта вращаются как единое целое.

Крючки для удаления бунта откидываются вниз, кожух одновременно садится на неподвижное седло. После удаления бунта вниз моталки крючки поднимаются, поднимается с седла кожух. и внутренний барабан приводится во вращение.

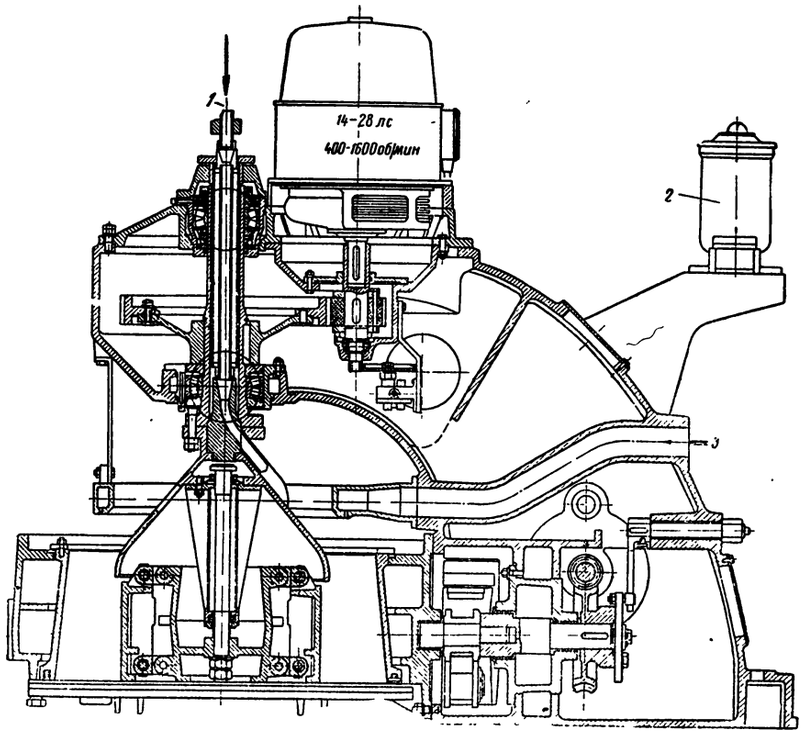



Рис. 188. Проволочная моталка с неподвижным барабаном

*1* — проволока; *2* — электромагнит для открывания водяного клапана; *3* — вода для охлаждения бунтов

Основным недостатком моталок с неподвижным барабаном является скручивание катанки вокруг своей оси при каждом обороте на 360°, что не имеет существенного значения для круглого материала. Главным недостатком моталок с вращающимися барабанами является ограничение скорости прокатки 10 *м* в секунду. В современных непрерывных проволочных станах, выпускающих катанку круглого сечения, применяются моталки комбинирован-

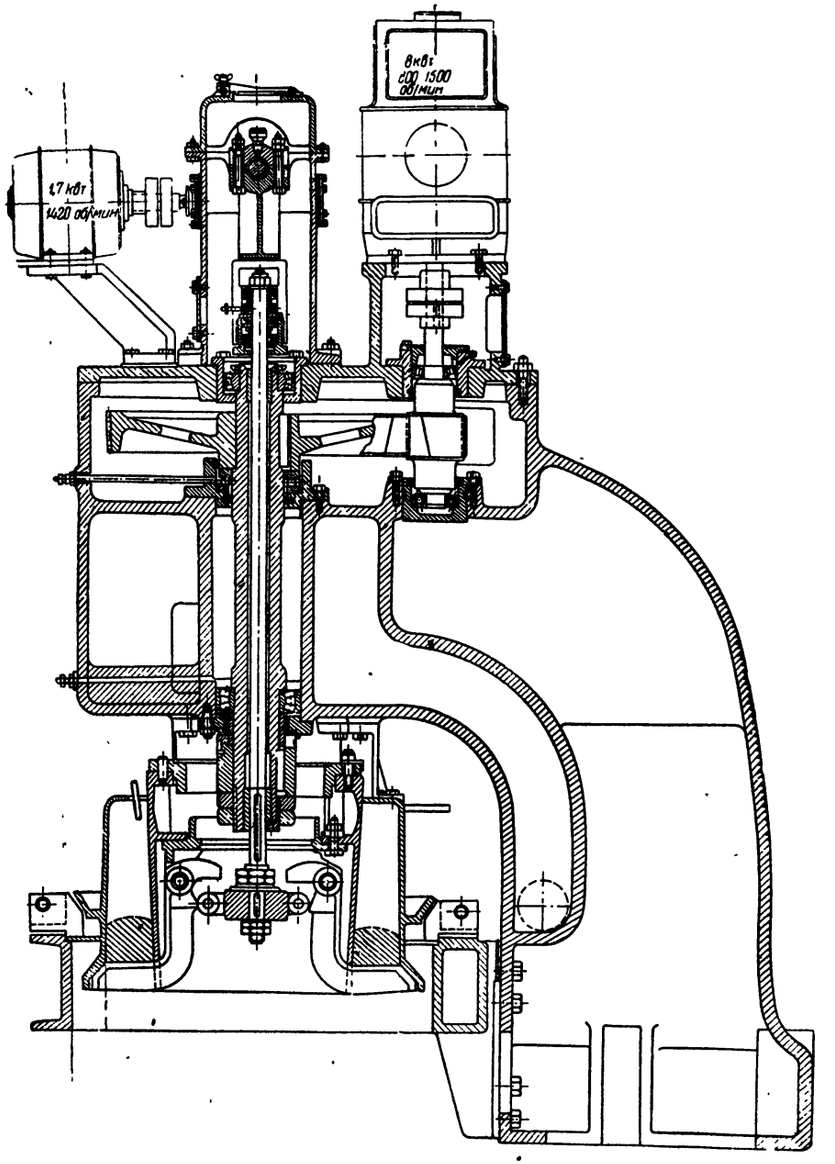
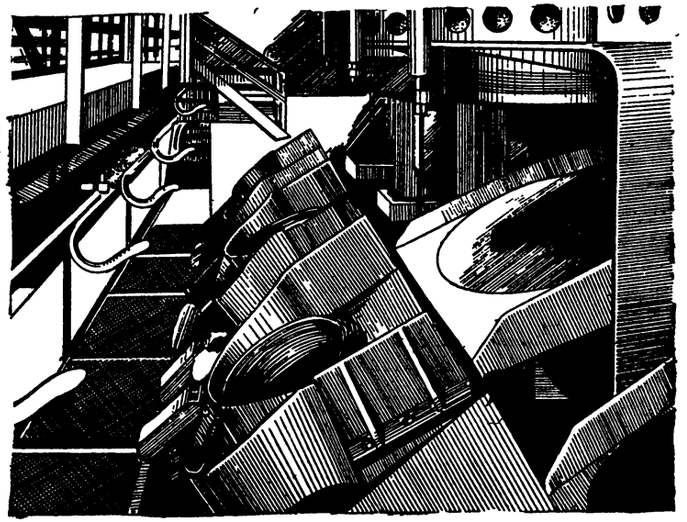
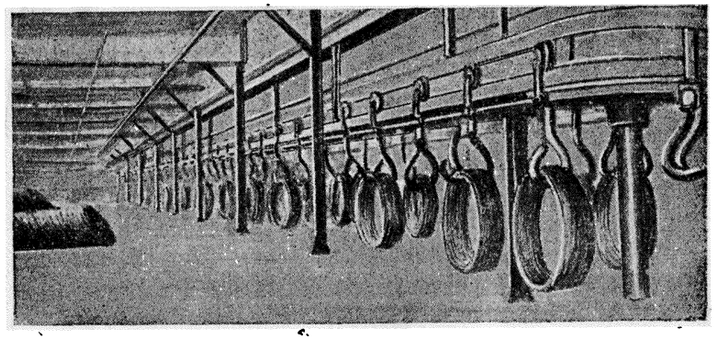



Рис. 189. Проволочная моталка с вращающимся барабаном

ного типа с неподвижным барабаном и с крючками. С транспортера бунт при помощи особого устройства (тарелка, рис. 190, *а*) навешивается на крючки крючкового транспортера, которым они



*а*



*б*

**Рис. 190. Уборка бунтов проволоки от моталок:**
*а* — тарелка для навески бунтов на крючки транспортера; *б* — крючковый транспортер

передаются на склад, естественно охлаждаясь по пути (рис. 190, *б*).

Для удобства транспортировки и дальнейшей обработки прокатанного продукта в виде широких лент, их свертывают в ру-



агиба про-
ки рулона
ки рулона
р.

пускаемой
уры конца
т подвер-

ния:

отвода от
ику не из-
жно, даже

сесторонне

лажденных

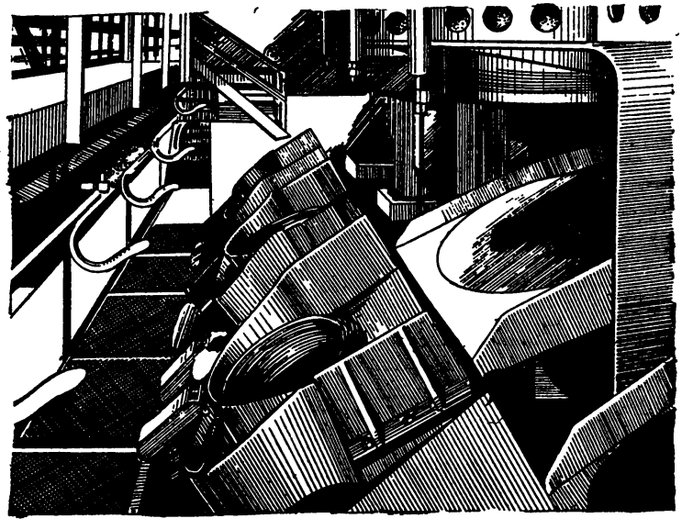
ерпендику-
правлении
одильника,

лины посту-
дном состоя-
из чистовой
на холодиль-
на холодиль-
ых станов до
ше площадь
льник, более
колько более
их холодиль-
холодильники

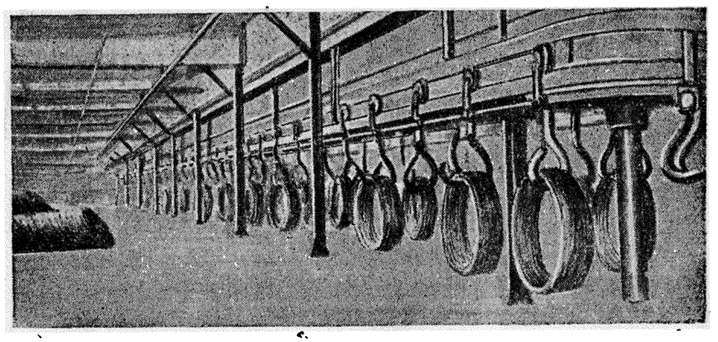
(131)

ике, *м*.

ного типа с неподвижным барабаном и с крючками. С транспортера бунт при помощи особого устройства (тарелка, рис. 190, *а*) навешивается на крючки крючкового транспортера, которым они



*а*



*б*

Рис. 190. Уборка бунтов проволоки от моталок:
*а* — тарелка для навески бунтов на крючки транспортера; *б* — крючковый транспортер

передаются на склад, естественно охлаждаясь по пути (рис. 190, *б*).

Для удобства транспортировки и дальнейшей обработки прокатанного продукта в виде широких лент, их свертывают в рулоны на специальных свертывающих машинах путем загиба прокатанной полосы роликами (рис. 191). По мере намотки рулона гибочные ролики автоматически расходятся, после смотки рулона последний выдается из машины толкателем на конвейер.



## 52. Холодильники

Для охлаждения в цехе большой массы металла, выпускаемой прокатным станом при горячей прокатке, от температуры конца прокатки 850 900° до 20 ÷ 50° прокатанный продукт подвергается охлаждению на специальных холодильниках.

К холодильнику предъявляются следующие требования:

1) необходимая пропускная способность;
2) регулируемый режим охлаждения;
3) возможно полная механизация и автоматизация;
4) чтобы металл во время подачи на холодильник, отвода от холодильника и во время передвижения по холодильнику не изгибался, не скручивался и не коробился, а если возможно, даже правился;
5) охлаждение отдельных полос должно быть всесторонне равномерным.

Подвод к холодильнику горячих полос и отвод охлажденных полос у современных станов производится рольгангами.

Полосы с рольганга на холодильник поступают перпендикулярно своей продольной оси. Размер холодильника в направлении перемещения по нему полосы называют длиной холодильника, размер вдоль оси полосы — шириной холодильника.

Ширина холодильника, очевидно, не должна быть менее длины поступающей на него полосы. Если резка металла производится в холодном состоянии, то ширина холодильника равна длине полосы, выходящей из чистовой клети. Если резка производится перед холодильником, то ширина холодильника равна максимальной длине отрезаемой части полосы. Ширина холодильника у крупносортных станов доходит до 32—36 *м*, у мелкосортных станов до 225—250 *м*. Чем больше производительность стана, тем больше площадь холодильника. Если ширина площади, отведенной под холодильник, более однократной длины полосы, то холодильник разбивается на несколько более коротких секций. Иногда более целесообразно вместо односторонних холодильников установить у подводящего рольганга двусторонние холодильники (рис. 192).

Длина холодильника в *м* определяется по формуле

$$L_x = \frac{Q_x}{G_п} t_п a, \qquad (131)$$

где $Q_x$ — часовая максимальная производительность стана, *т*;
$G_п$ — вес одной полосы, *т*;
$t_п$ — время охлаждения одной полосы, часы;
$a$ — расстояние между осями соседних полос на холодильнике, *м*.

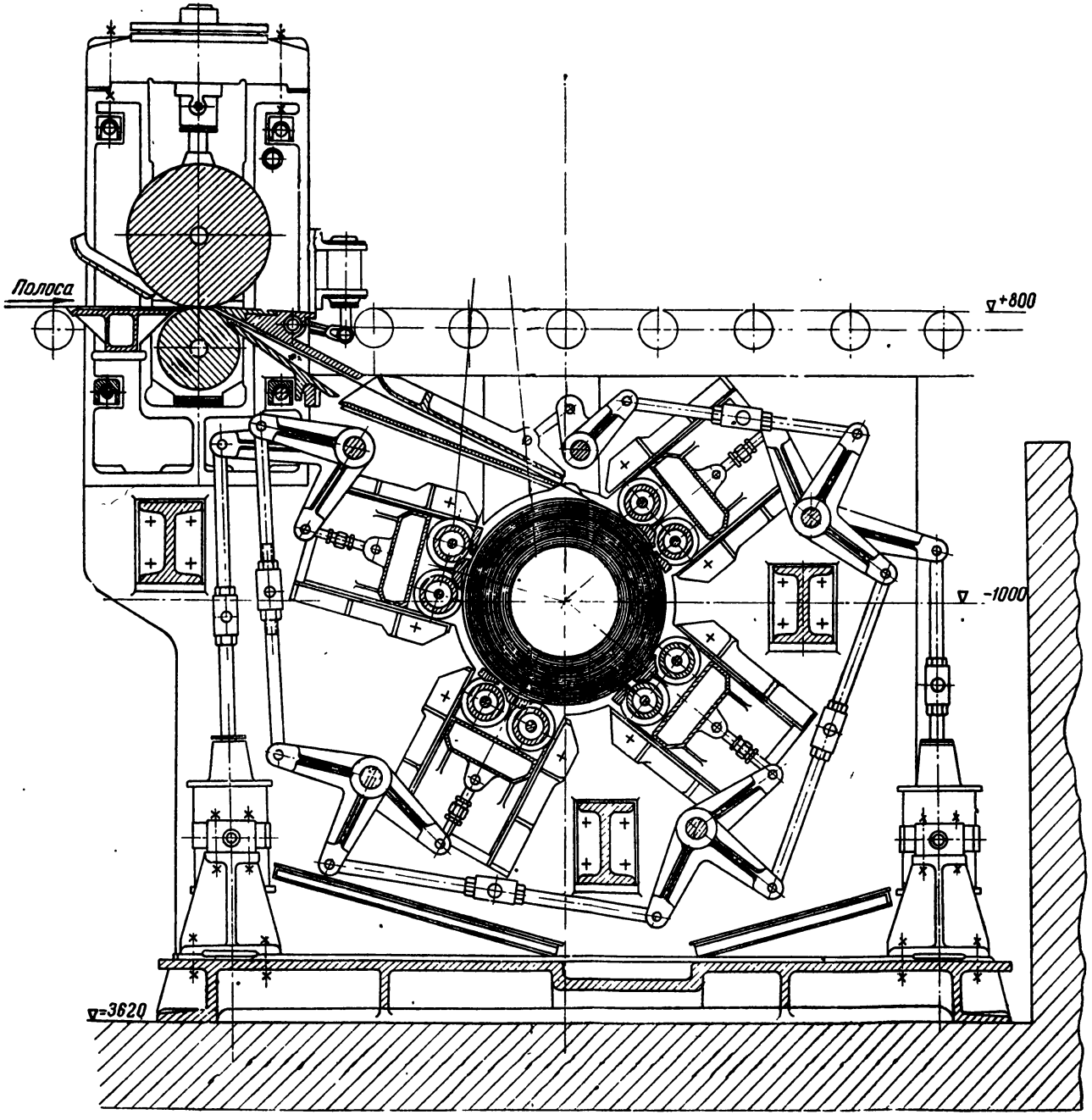



Рис. 191. Многороликовая моталка непрерывного тонколистового стана

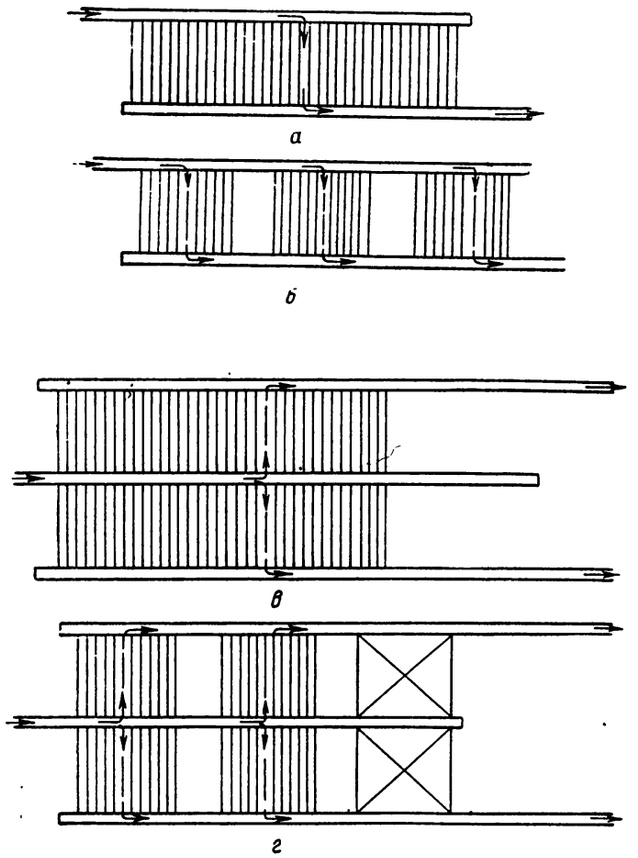



Рис. 192. Схема расположения холодильников:

*а* — односторонний одиосекционный; *б* — односторонний многосекционный; *в* — двусторонний односекционный; *г* — двусторонний многосекционный



Каждый холодильник состоит из трех основных элементов: сбрасывателя с подводящего рольганга на холодильник, собственно холодильника и укладывателя для передачи охлажденного металла с холодильника на отводящий рольганг.

На рис. 193 дана схема сбрасывателя клапанного типа. Когда клапан опущен, полоса свободно проходит по рольгангу. При перемещении тяги *а* все клапаны по всей длине рольганга, поворачиваясь около шарниров *б*, приподнимаются и приподнимают лежащую на рольганге полосу, которая начинает скользить по их наклонной части и сбрасывается на собственно холодильник.

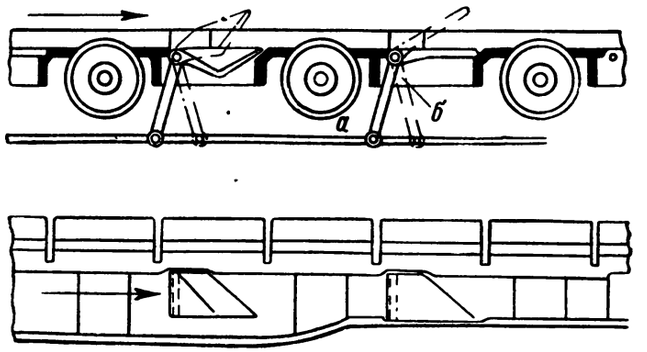



Рис. 193. Клапанный сбрасыватель полос на холодильник

Холодильники могут быть выполнены реечного типа, у которых между рядом неподвижных реек установлены подвижные рейки (рис. 194). Рейки зубчатого типа. При каждом ходе подвижные рейки совершают качательно-поступательное движение от эксцентриков. Каждая точка подвижных реек совершает за один ход круговое движение, во время которого часть пути подвижная рейка проходит выше уровня неподвижных реек, часть пути — ниже. Во время прямого хода полоса постепенно приподнимается подвижными рейками над неподвижными и переносится вдоль неподвижных реек на один шаг, после чего подвижные рейки совершают возвратное перемещение, проходя под уровнем неподвижных реек к исходному положению.

Скорость продвижения полосы по холодильнику может быть увеличена или уменьшена регулировкой числа оборотов эксцентрикового вала.

Для охлаждения средних и тяжелых профилей (на рельсобалочных, крупносортных и других станах) часто применяют холодильники с канатными транспортерами (рис. 195). Перемещение каждой нитки транспортера производится от приводного шкива. На верхней ветви нитки прикреплена тележка с пальцем; воспринимающим усилия только в одну сторону. Периодическое перемещение групп полос производится при помощи пальцев тележек. При обратном (холостом) перемещении тележки палец скрывается под полосами. Тележка перемещается по направляющим балкам.

На рис. 196 дана схема укладывателя с планетарной зубчатой передачей. На одной оси с крайней шестерней находится корыто, при врашении вала *I*

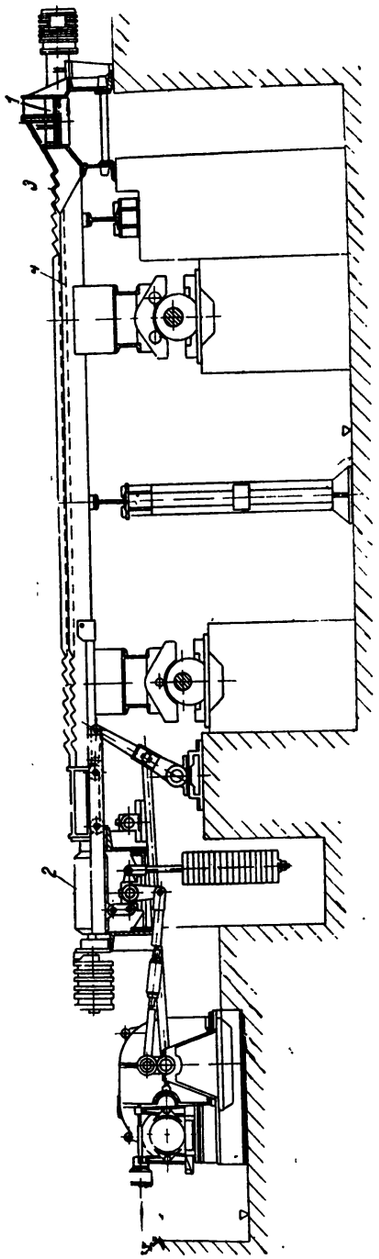


Рис. 194. Холодильник реечного типа:
*1* — подводящий рольганг; *2* — отводящий рольганг; *3* — система неподвижных реек; *4* — система подвижных реек

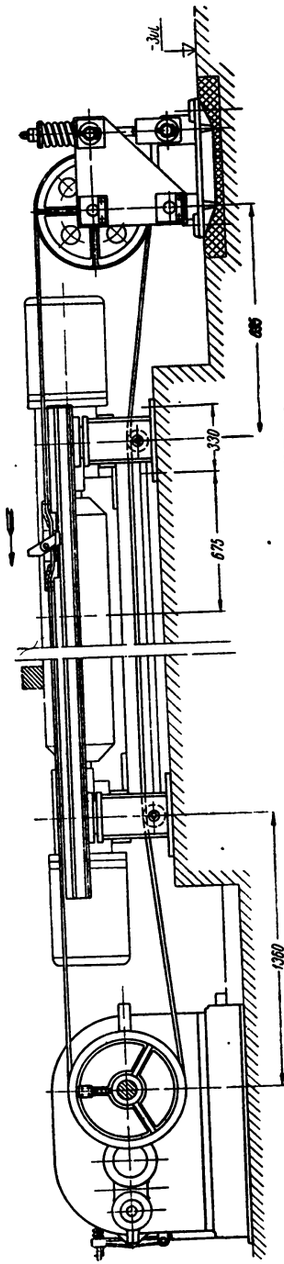



Рис. 195. Канатный транспортер холодильника.



корыто *2* вращается по окружности, сохраняя в пространстве постоянно свое положение. В крайнем левом положении корыто приподнимает с холодильника ряд полос, переносит их на отводящий рольганг и возвращается обратно.

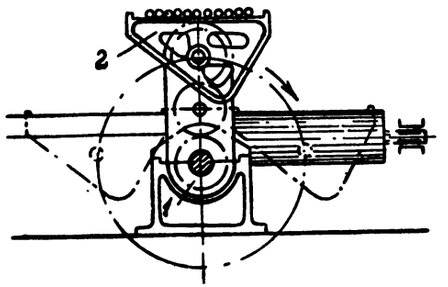



Рис. 196. Укладыватель холодильника

## *Глава XI*

# ТРАНСПОРТНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

### 53. Назначение и виды транспортных машин

Производительность прокатных станов достигает очень больших значений (например, производительность блуминга может превосходить 2 000 000 *т* в год). В процессе прокатки всю массу металла приходится перемещать вдоль и поперек пролета стана от одного механизма к другому, маневрировать с этим металлом около каждого механизма, поднимать его по высоте и опускать, поворачивать полосы весом до 20 *т* и выше вокруг горизонтальных и вертикальных осей при высокой температуре металла. Все это может осуществляться достаточно быстро (при минимальной потере температуры нагретого металла) при условии наличия мощного и производительного транспортного оборудования. В табл. 8 приводятся основные виды и типы транспортного оборудования. Иногда продукт во время транспортировки может одновременно подвергаться и технологическим операциям (холодильники, рольганги с охлаждением передвигаемой полосы водой и т. д.).

### 54. Устройства для продольной транспортировки

Рольганги. Рольганги являются наиболее распространенным устройством для транспортировки металла вдоль пролета цеха. Ролики рольганга под влиянием веса полосы изгибаются, а шейки их подвергаются крутящему моменту привода; ролики

*Таблица 8*

**Транспортные машины и установки**

| Наименование оборудования | Конструкция | Место установки и назначение |
|---|---|---|
| Конвейеры | Пластинчатые | Уборка обрези после ножниц<br>Уборка бунтов после моталок<br>Уборка рулонов после смотывания |
| | Роликовые | Замедленное передвижение листа |
| | Скребковые | Уборка окалины |
| Рольганги | С прямой осью<br>С косорасположенными роликами<br>Гравитационные | Передвижение полосы вдоль пролета |
| Транспортеры (шлепперы) | Цепные, канатные | Передвижение продукта поперек цеха |
| Манипуляторы | Односторонние<br>Двухсторонние | Перемещение прокатываемой полосы от калибра к калибру |
| Толкатели | Реечные<br>Винтовые | Посадка и проталкивание нагреваемого металла в печи |
| Вталкиватели | — | Посадка длинной заготовки в печь |
| Выталкиватели | — | Выдача нагретого металла из печи |
| Сталкиватели | Рычажные<br>Реечные | Сталкивание полос с рольганга |

Подъемные установки

| | | |
|---|---|---|
| Крышевые подъемы | — | У прокатных клетей |
| Параллельно подъемные столы | — | То же и у ножниц |



Продолжение

| Наименование оборудования | Конструкция | Место установки и назначение |
|---|---|---|
| Качающиеся столы | — | То же |

Устройства для поворота прокатываемой полосы

| | | |
|---|---|---|
| Вокруг горизонтальной оси | Пальцевый кантователь<br>Крючковый кантователь<br>Кантующие втулки<br>Пластинчатый кантователь<br>Рычажный кантователь<br>Стационарный опрокидыватель | Прокатные печи |
| Вокруг вертикальной оси | Пальцы<br>Конические ролики | На столе листовой клети |
| | Поворотное устройство для слитка | Подводящий рольганг к столу |

находятся под действием высокой температуры металла и часто подвергаются ударному воздействию (первые ролики у прокатной клети, первые ролики приемного рольганга и т. д.). Ролики, подвергающиеся сильным ударам, изготовляются стальными цельнокованными. Шейки отковываются заодно с телом ролика (рис. 197, *а*). У роликов тяжелых станов, не подвергающихся сильным ударам, бочка изготовляется полая литая стальная и насаживается на общий кованый стальной вал (рис. 197, *б*). Иногда вместо общего вала у ролика вставляются две цапфы. У роликов, работающих в более легких условиях, полая бочка отливается из чугуна. У мелкосортных станов ролик изготовляется сварным из листового железа (рис. 197, *в*). Ролики нормального типа имеют две шейки по обе стороны бочки. Для станов легкого типа применяются консольные ролики. Шейки роликов вращаются в подшипниках скольжения или качения.

При групповом приводе все ролики рольганга приводятся во вращение от одного двигателя через редуктор и конические передачи (рис. 198) и реже через цилиндрические передачи. При индивидуальном приводе каждый ролик приводится во вращение от самостоятельного двигателя. Полная длина секции рольганга с роликами, приводимыми от одного двигателя, не более 25—40 *м*. Длина отдельных частей рамы не должна из условий транспортировки и монтажа превосходить 4—4,5 *м*.

Шестерни привода роликов вращаются в масляных коробках (рис. 199), верх роликов устанавливается заподлицо с уровнем пола, что облегчает передвижение в цехе, но обслуживание и ре-

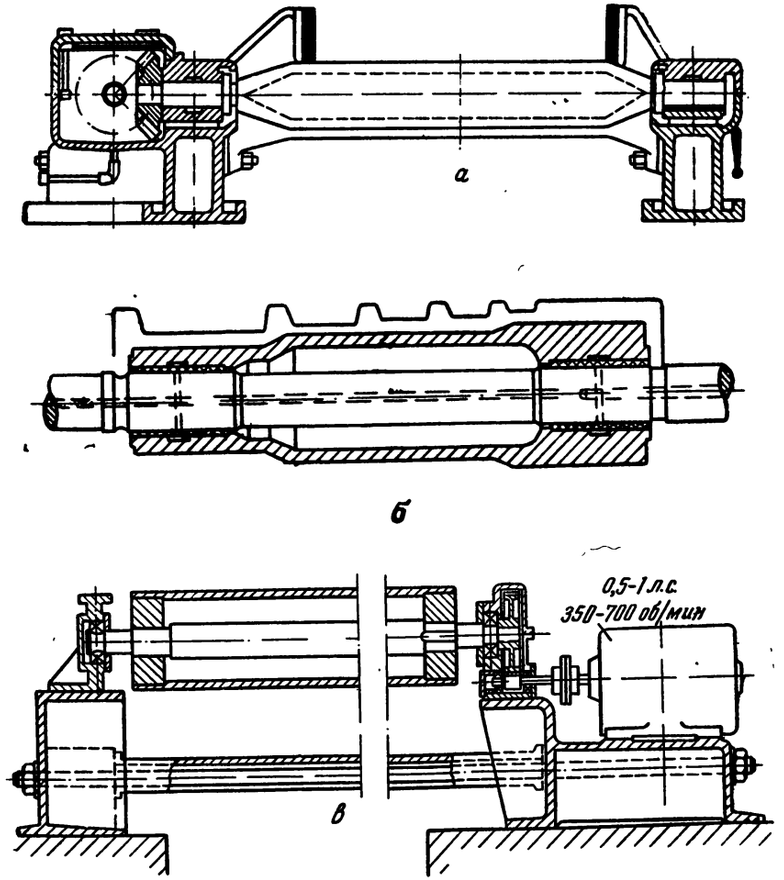



Рис. 197. Ролики рольганга с групповым приводом:
*а* — стальные кованые; *б* — стальные ленты; *в* — сварные

монт рольгангов затрудняется; для облегчения ухода за рольгангом в последнее время уровень рольганга поднимают над уровнем пола на 700—750 *мм*.

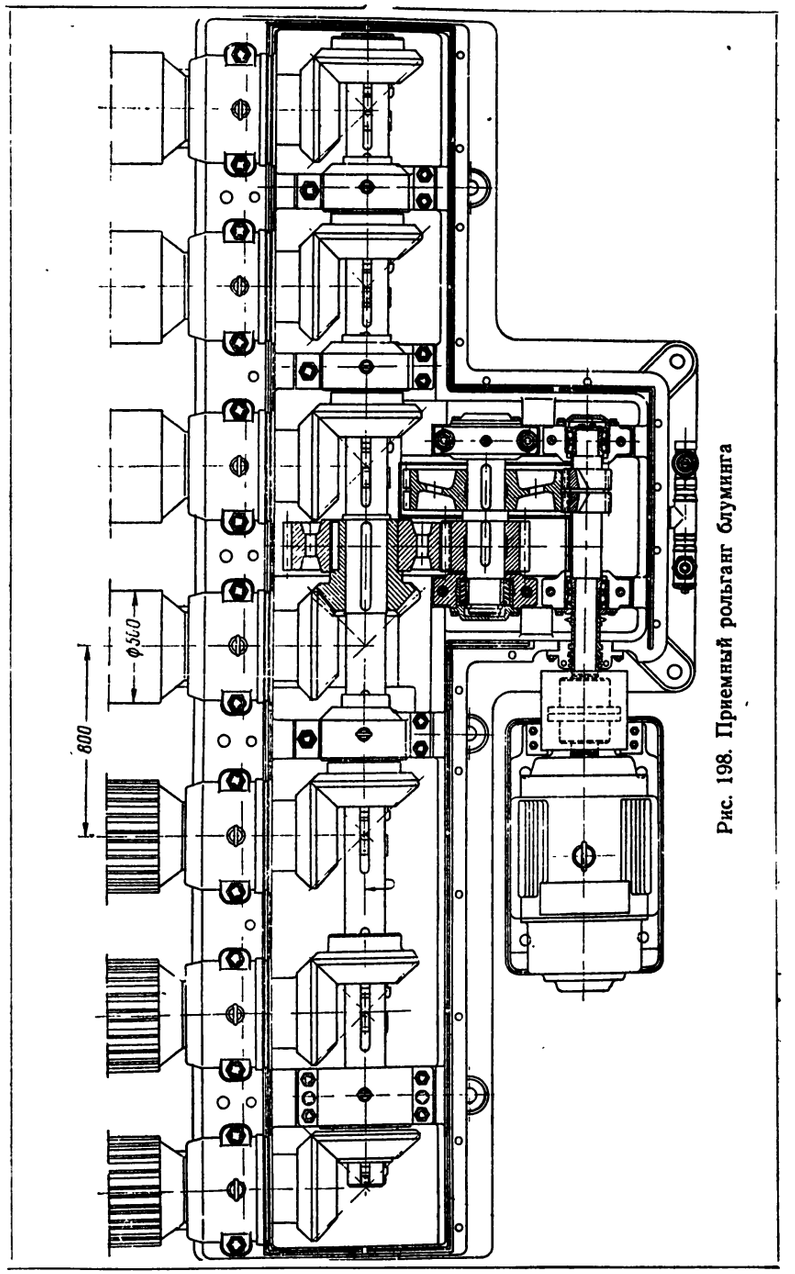



Рис. 198. Приемный рольганг блуминга

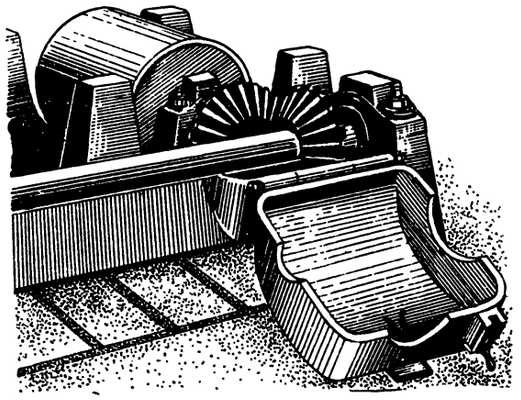


Рис. 199. Конические шестерни группового привода рольганга

## 55. Устройство для поперечной транспортировки металла

Для поперечного перемещения прокатываемого металла в цехе наиболее часто устанавливаются поперечные транспортеры (шлепперы). Эта установка состоит из нескольких линий (ниток) (рис. 200, *а*), образуемых канатами или непрерывными цепями. В верхней ветви нитки закреплены тележки с установленными в них пальцами (рис. 200, *б*).

Каждый канат или цепь охватывает соответственно шкивы или звездочки (рис. 200). Одна из звездочек — холостая, вторая — ведущая. Ведущие звездочки всех цепей приводятся одновременно во вращение от двигателя через редуктор. Весь привод вместе с тележками и их направляющими балками устанавливается ниже уровня верхней кромки роликов рольганга и над этим уровнем выступают только верхние концы пальцев. Кулачки в тележках устанавливаются качающимися, при движении их в одном направлении они упираются в свои тележки, остаются в вертикальном положении и, упираясь в полосу, перемещают ее перпендикулярно ее оси. При обратном движении, дойдя до последующей полосы, они имеют возможность отклониться от вертикального положения и, пройдя под полосой, выпрямиться. Таким образом кулачки перемещают полосу постоянно только в одном направлении. Скорость перемещения тележки шлепперов 1—1,5 *м/сек*. Управление поперечными транспортерами, так же как и рольгангами, производится с поста управления.

Для уборки обрези от ножниц блуминга и слябинга устанавливаются специальные устройства — конвейеры для обрезков, передающие обрезь в поперечном направлении в скрапной пролет. После обрезки на ножницах обрезанный конец попадает на пластинчатый транспортер, которым и передается в скрапной пролет. Конвейер представляет собою две непрерывные цепи, парные звенья которой сверху соединяются между собою плитами. В некоторых устройствах конвейер примыкает не сбоку рольганга, а подводится снизу роликов рольганга. Для передачи обрезанного конца на конвейер предусмотрена установка качающегося ролика. При его качании обрезок проваливается между ним и роликом рольганга и по жолобу направляется на конвейер.



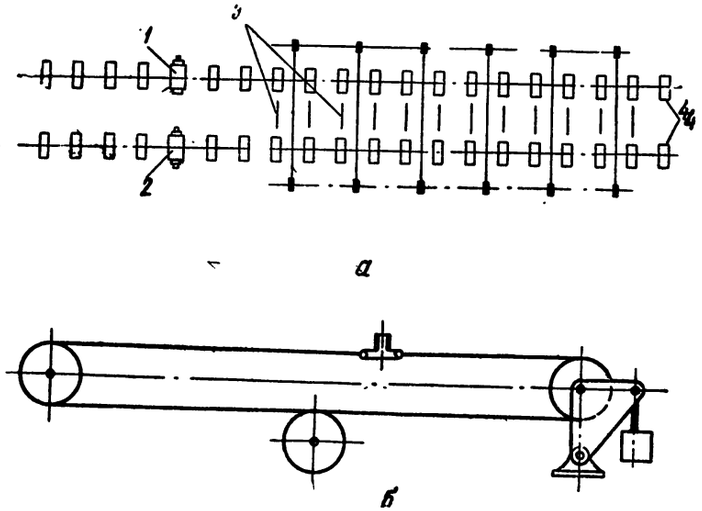



Рис. 200. Поперечный транспортер:

*а* — план; *б* — нитка транспортера; *1—2* — прокатные клети; *3* — опорные рельсы; *4* — рольганги

## 56. Устройство для высотного перемещения прокатываемой полосы

Наиболее распространенными для этой цели устройствами являются подъемные и качающиеся столы.

Параллельно-подъемные столы представляют собой клепаную или сварную раму, могущую подниматься и опускаться параллельно своему первоначальному положению (рис. 201, *а*) и тем самым поднимать или опускать лежащую на ней полосу с одного горизонта до другого. На верхней части рамы устанавливаются приводные (реже холостые) ролики, обеспечивающие подачу по-

лосы в калибр. Подъем стола осуществляется от двигателя через редуктор, кривошипно-шатунную передачу, рычаги и тяги.

Параллельно-подъемные столы устанавливаются либо позади клети, либо по обе стороны клети (с блокировкой). Они обеспечивают правильную подачу полосы к калибру (перпендикулярно плоскости осей валков), но требуют значительной затраты энергии при подъеме и опускании стола, так как вес стола очень значителен. Так как длина стола не превышает 10 *м*, то и длина раскатанной полосы не должна превосходить этих пределов.

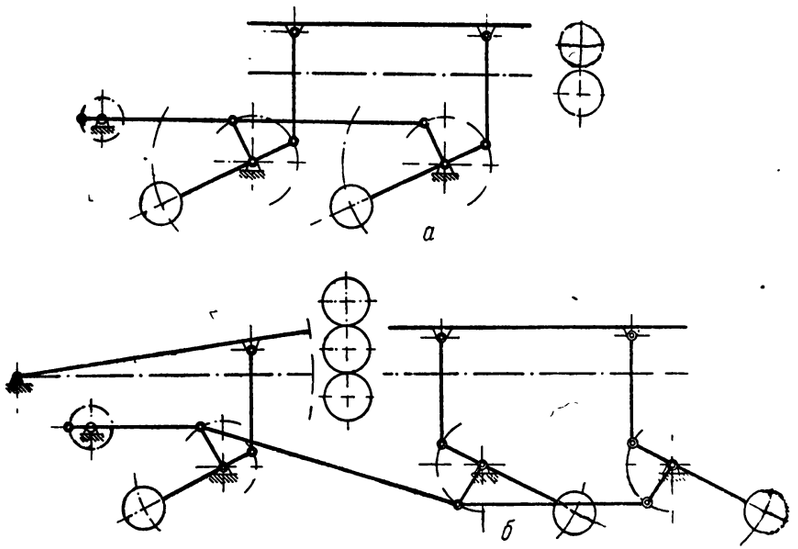



Рис. 201. Схемы подъемных столов:
*а* — параллельно-подъемный; *б* — качающийся и параллельно-подъемный

Для возможности оперирования с длинной полосой (более 10 *м*) устанавливаются качающиеся столы. Конец стола, ближайший к клети, поднимается на требуемую высоту и обеспечивает подачу полосы в калибр, дальний же от клети конец неподвижен и находится на уровне подводящего или отводящего рольганга. Как и у параллельно-подъемных столов, наверху у качающихся столов устанавливаются приводные ролики (рис. 201, *б*). Качающиеся столы не обеспечивают такой правильной задачи полосы в валки, как параллельно-подъемные столы, но зато позволяют прокатывать полосу большой длины. Уклон стола допускается $^1/_{10}$, следовательно, длина качающегося стола равна 10 $h_c$ (где $h_c$ — высота подъема стола). Качающиеся столы устанавливаются либо по обе стороны (с блокировкой), либо с одной стороны клети.



В настоящее время, как правило, нечетные калибры в клетях трио располагаются между нижним и средним валками, а четные — между верхним и средним. Поэтому для обеспечения правильности подачи полосы в валки с передней стороны может быть установлен качающийся стол, а с задней стороны — параллельно-подъемный. Это имеет особо важное значение при прокатке коротких слитков высококачественной стали.

## 57. Манипуляторы, кантователи и слитковозы

Для правильной задачи полосы в калибры блуминга и в валки слябинга с обеих сторон прокатной клети устанавливаются линейки манипулятора, обеспечивающего правильное направление прокатываемой полосы в калибр и возможность выпрямления изогнутой полосы перед задачей ее в калибр (левые и правые линейки манипулятора передней и задней сторон клети должны быть сблокированы). Привод у левых и правых линеек может быть двусторонним (рис. 202, *а*) или односторонним (рис. 202, *б*). При одностороннем приводе установка более компактна, занимает меньше места, но осмотр и ремонт ее затрудняется. Скорость передвижения линеек блумингов дуо и слябингов 0,7 ÷ 1 *м/сек*. Максимальное усилие 25—80 *т*.

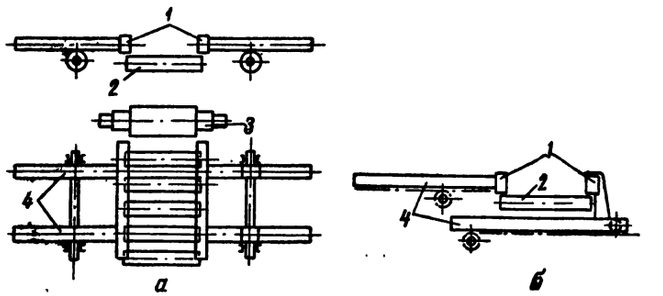



Рис. 202. Схемы манипулятора:
*а* — двусторонний; *б* — односторонний; *1* — линейка манипулятора; *2* — ролик рольганга; *3* — прокатный валок; *4* — рейки

Типов кантователей очень много. Назначение кантователей — повертывать прокатанную полосу после ее выхода из валков около ее продольной оси на угол 45 или 90°.

У блумингов и слябингов применяются крючковатые кантователи, устанавливаемые на линейках манипулятора (рис. 203). При кантовке линейка с крючками приближается вплотную к полосе, крючки подхватывают полосу

снизу за один край и поворачивают при своем дальнейшем подъеме полосу на 90° около соседнего ребра, лежащего на роликах рольганга.

Между клетями зигзагообразных станов устанавливаются кантователи в виде кантующих втулок (рис. 204). Включение двигателя, вращающего

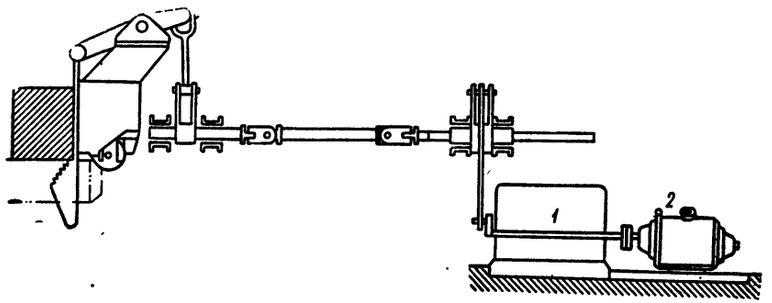



Рис. 203. Крючковый кантователь:
*1* — редуктор; *2* — двигатель

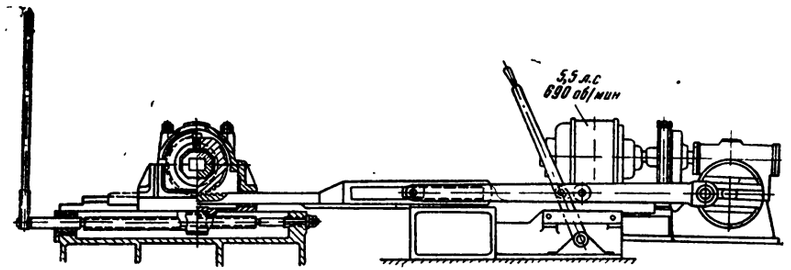



Рис. 204. Кантующая втулка

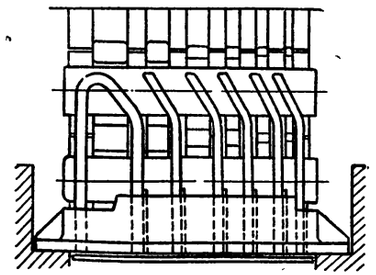


Рис. 205. Пластинчатый кантователь

муфту, осуществляется посредством флажка. После прохода полосы втулка возвращается в первоначальное положение отклонением флажка в обратном направлении. Втулка может быть установлена перед любым калибром с помощью механизма.

У обжимных клетей трио может быть установлен пластинчатый кантователь (рис. 205). Ролики рольганга перед клетью постоянно вращаются в одном направлении. Кантователь этого типа хорошо работает при сравнительно короткой длине полосы и при плоских калибрах.

Слитки в колодцах располагаются в вертикальном положении и извлекаются клещевыми кранами.



У современных блумингов с большой производительностью фронт группы колодцев достигает 160 *м*. Подачу слитков от колодцев к рольгангу и поворот слитков на 90° (из вертикального положения в горизонтальное) осуществляют тележкой-опрокиды-

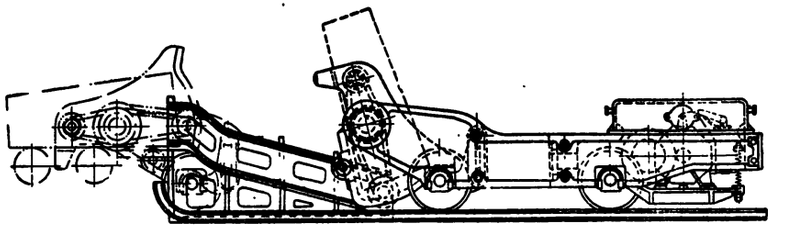


Рис. 206. Тележка-опрокидыватель (слитковоз)

вателем (слитковозом), перемещающейся по железнодорожному пути вдоль фронта колодцев до приемного рольганга (рис. 206). Тележка перемещается от двигателя, и на передней стороне ее установлен опрокидыватель (коробка с нижним шарниром).

РАЗДЕЛ 2

# КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

## *Глава XII*

## ПОНЯТИЯ О КАЛИБРОВКЕ

### 58. Задачи калибровки прокатных валков

Раньше всех других видов прокатных изделий на прокатных станах получали полосы и листы, затем профили с квадратным и круглым сечениями. Угловое железо, применявшееся главным образом для изготовления отдельных частей ферм и стропил, начали прокатывать задолго до появления других фасонных профилей. Особенно интенсивно прокатка профилей стала развиваться с начала XIX века. Так, например, в 1825 г. были прокатаны железнодорожные рельсы; около 1830 года впервые было получено тавровое железо и несколько позже началась прокатка двутавровых балок и швеллерных профилей. Таким образом, к 1850 г. возникли все наиболее употребляющиеся в настоящее время профили.

Развитие прокатного производства и появление большого количества профилей различной формы и размеров привело к необходимости разработки и введения прокатного сортамента. В России нормальный (метрический) сортамент был составлен по предложению инженера Белелюбского в 1894 г. и введен как обязательный в 1900 г. В настоящее время в СССР сортамент почти всех прокатных изделий стандартизован и помещен в таблицах общесоюзного стандарта (ГОСТ).

Сортамент прокатываемых изделий весьма разнообразен, причем по мере развития народного хозяйства он непрерывно пополняется новыми профилями и размерами. В настоящее время на наших заводах прокатывается много новых профилей: шпора заднего колеса трактора, обод колеса автомобиля, шунтовые сваи, периодические профили для машиностроения и др. Большое количество новых профилей осваивается в СССР ежегодно, причем освоение их является ответственной задачей прокатчиков и в будущем. В основном — это задача калибровки прокатных валков. Кроме того, непрерывно ведется работа по улучшению действующих в настоящее время калибровок прокатных станов. Выполняя калибровку прокатных валков, необходимо иметь в виду получение изделий наилучших качеств, обеспечение высокой производительности, минимальной себестоимости, облегчение и упрощение работы вальцовщиков. В развитии калибровки большие заслуги принадлежат нашей отечественной науке.

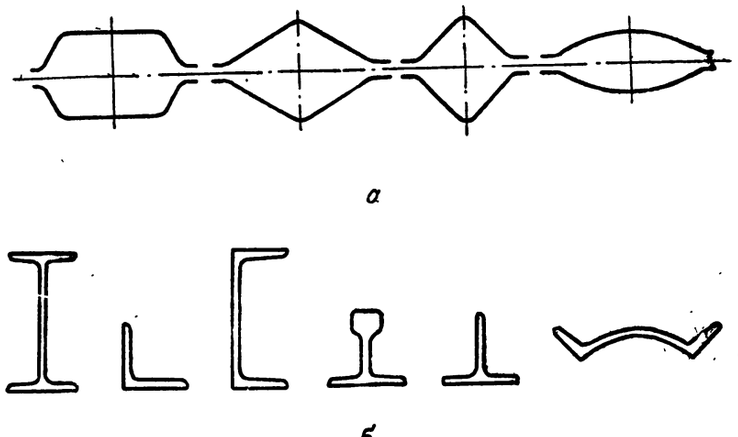


Так, В. Е. Грум-Гржимайло [15] создал теоретические основы калибровки фланцевых профилей, А. П. Виноградов [19] разработал метод расчета калибровки валков обжимных и непрерывных станов, А. Ф. Головин [20] разработал метод соответственной полосы для расчета деформации металла при прокатке простых сортовых профилей. А. П. Чекмарев [24] усовершенствовал методы калибровки валков блуминга и валков для прокатки полосовой стали. Значительный вклад в калибровку прокатных валков внесли Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов, разработавшие новые методы расчета калибровки ряда профилей и создавшие труд по калибровке прокатных валков [23], Д. И. Старченко, разработавший метод развернутой калибровки фасонных профилей [32], и многие другие ученые и практики. Большое значение для калибровки прокатных валков имела и разработка общей теории прокатки советскими учеными.

### 59. Основные понятия о калибровке валков

Вырез в цилиндрической поверхности валка именуется ручьем и составляет часть калибра. В целом калибр складывается из двух ручьев (обоих валков) и из зазора между ними.

Прокатка в ряде последовательных калибров должна обеспечить: 1) уменьшение поперечного сечения полосы и соответствующую вытяжку, 2) придание полосе сложной формы. Для осуществления первой цели применяются калибры, имеющие прямоугольную (ящичную), ромбическую, квадратную и овальную форму (рис. 207, *а*).



*а*

*б*

Рис. 207. Формы калибров

Для осуществления второй цели применяются калибры фасонной формы, причем отделочные или чистовые калибры имеют форму готового профиля (рис. 207, *б*). В качестве же черновых или подготовительных применяются калибры, постепенно по ходу прокатки приближающиеся к форме готового профиля.

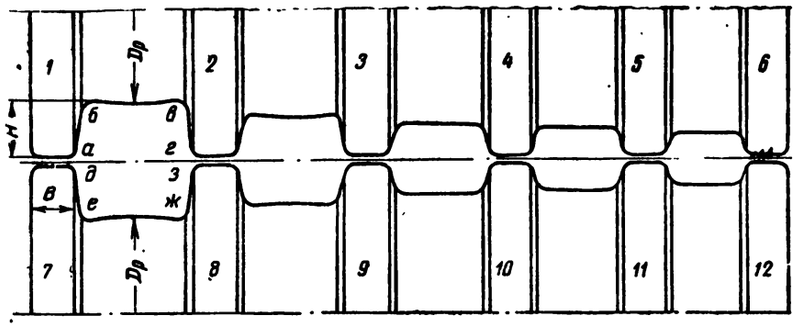



Рис. 208. Прокатные валки с калибрами

На рис. 208 показаны валки с калибрами, причем ломаная линия *абвг* ограничивает ручей верхнего валка, а линия *дежз* — ручей нижнего валка. Место, где граница профиля переходит с одного валка на другой (*а*, *д* и *г*, *з*) называется разделом калибра.

В зависимости от положения в валках калибры могут быть открытыми и закрытыми. Открытыми калибрами называются такие, у которых раздел со стороны буртов ограничен линиями, параллельными осям валков (рис. 209, *а*). Закрытыми калибрами называются такие, у которых раздел со стороны буртов ограничен линиями, перпендикулярными оси валков (рис. 209, *б*). Однако в практике применяется большое количество калибров, у которых раздел со стороны буртов ограничен наклонными линиями. В связи с этим открытыми калибрами будем называть такие, у которых угол между осью валка и линиями раздела меньше 60° (рис. 209, *в*), закрытыми такие, у которых этот угол больше 60° (рис. 209, *г*).

Угол 60° выбран потому, что законы для прямого обжатия («давления») при наклоне давящей плоскости к оси валков, начиная с 60°, соблюдаются довольно хорошо. При углах $\varphi$, меньших 60°, действие бокового обжатия начинает преобладать над прямым.

Под прямым обжатием будем понимать уменьшение размеров полосы в вертикальном направлении, а под боковым — уменьшение размеров полосы в горизонтальном направлении, причем боковое обжатие возникает только в частях калибра, ограниченных разными валками.



Промежутки между ручьями в теле валка называются буртами. На рис. 208 (*1*—*12*) показаны бурты верхнего и нижнего валков. Бурты *1* и *6*, *7* и *12* называются внешними, все остальные — промежуточными.

Ширина буртов $B$ (см. рис. 208) выбирается в зависимости от материала валков и конструкции калибра.

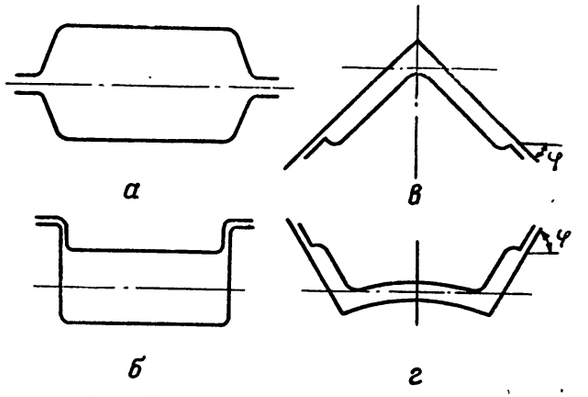



Рис. 209. Открытые и закрытые калибры

Боковые стенки ручьев обычно делают наклонными по отношению к оси валка, причем наклон стенок называется выпуском. Благодаря выпуску полоса центрируется в калибре, облегчается задача ее в валки, удлиняется срок службы валков и валки предохраняются от оковывания их полосой. Наличие выпуска позволяет также сохранить размеры ручьев при переточке валков.

Для возможности регулирования положения валков, а также для того, чтобы во время холостого хода стана бурты не соприкасались, между валками устанавливается зазор. При этом высота выходящей из калибра полосы определяется глубиной вреза ручьев в нижнем и верхнем валках и величиной зазора между ними. Увеличение зазора между валками во время прохождения между ними полосы называется игрой валков. Для получения полосы с заданной толщиной необходимо учитывать игру валков и соответственно делать зазор меньше, чем указано на чертеже.

Диаметр валка, измеренный по контуру ручья, называется рабочим диаметром (см. рис. 208).

Рабочие диаметры $D_р$ верхнего, среднего и нижнего валков обычно бывают неодинаковыми, так как при одинаковых диаметрах направление движения полосы при выходе из валков зависело бы от ряда факторов, которые не всегда можно учесть на практике.

Для того, чтобы заранее предопределить направление движения полосы, применяют валки разного диаметра. Верхнее или нижнее давление в калибрах прокатных валков определяется разностью между рабочими диаметрами. На рис. 210, *а* показана схема, поясняющая верхнее давление, а на рис. 210, *б* — нижнее давление.

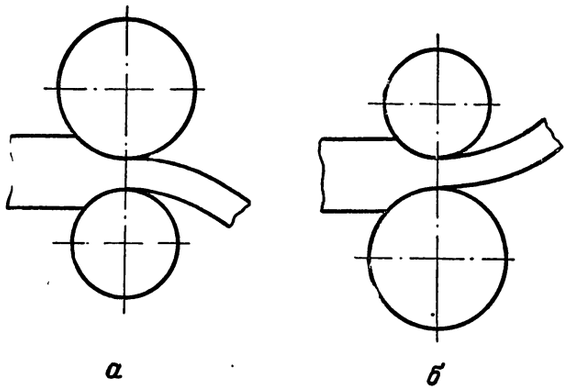



Рис. 210. Схема верхнего (*а*) и нижнего (*б*) давления

На наших заводах в большинстве случаев применяется для сортовых станов верхнее давление, причем для мелкосортных станов оно равно 2—3 *мм*, для крупносортных и балочных — 10 *мм*. У блумингов во избежание сильных ударов переднего конца полосы о ролики рольганга, как правило, делают нижнее давление, величина которого достигает 20 *мм*.

Вертикальная плоскость, проведенная через оси валков, называется плоскостью прокатки. Разрез валков в плоскости прокатки отвечает чертежу валков. Рассмотрим рис. 211. Расстояние между осями новых валков с учетом нормального зазора называется номинальным диаметром данной пары валков. Горизонтальная линия, которая делит это расстояние пополам, называется средней линией валков. Воображаемая же горизонтальная линия, которая делит номинальный диаметр в каждом калибре на две части с учетом верхнего или нижнего давления, называется линией прокатки. В том случае, когда диаметры валков одинаковы, линия прокатки совпадает со средней линией валков. При верхнем давлении линия прокатки располагается на $\frac{m}{4}$ *мм* ниже средней линии валков, а при нижнем давлении на $\frac{m}{4}$ *мм* выше средней линии валков, где $m$ — верхнее или нижнее давление.

Калибры на валках располагаются таким образом, чтобы нейтральная линия калибра совпадала с линией прокатки, причем



под нейтральной линией калибра понимается такая горизонтальная линия в калибре, которая, будучи совмещенной со средней линией валков, обусловливает прямолинейное движение полосы после ее выхода из валков.

В прямоугольных калибрах нейтральная линия проходит по середине высоты калибра; в квадратных и ромбических она совпадает с горизонтальной диагональю; в круглых и овальных — с горизонтальным диаметром.

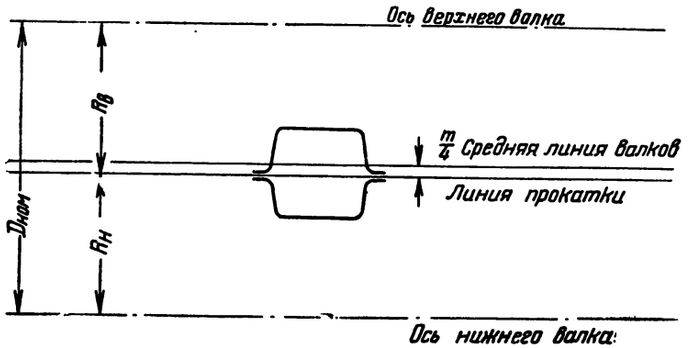



Рис. 211. Чертеж валка

Сложнее определяется очень важное в отношении работы прокатного стана и качества изделий положение нейтральной линии в калибрах для получения фасонных профилей, таких как рельс, балка, угловое железо и др. По одному из наиболее распространенных способов нейтральную линию фасонных калибров проводят через их центр тяжести.

Обычно прокатка сортового металла заканчивается при температурах 800—900°. При остывании уменьшаются размеры поперечного сечения полосы, т. е. получается усадка, которая принимается равной 1—1,5%. Чтобы получить нужные размеры у готового профиля, размеры чистового калибра увеличивают на величину усадки. Профиль с учетом теплового расширения называется горячим профилем.

При прокатке различают вытяжки: суммарные, средние и частные, т. е. вытяжки за каждый отдельный проход, уже рассмотренные нами ранее.

Величина допускаемой средней вытяжки зависит от размеров и формы профиля, мощности станов двигателей, углов захвата, системы калибровки, температуры прокатки, прочности валков, качества прокатываемого металла и др., причем для целого ряда систем калибровок средние вытяжки могут быть указаны заранее.

Для определения площади и размеров ряда последовательных калибров необходимо знать вытяжки в каждом калибре. На рис. 212 показан типовой график распределения вытяжек по пропускам. В первых пропусках вытяжка увеличивается в связи с тем, что сечение полосы уменьшается, а обжатие сохраняется одним и тем же или почти одним и тем же. По достижении максимального значения вытяжка уменьшается, так как в связи с падением температуры повышается сопротивление деформации. В последних пропусках (в предчистовом и чистовом калибре) вытяжка определяется главным образом из условий износа валков и получения точного профиля по форме и размерам. Поэтому в последних проходах вытяжки меньше, чем в черновых калибрах.

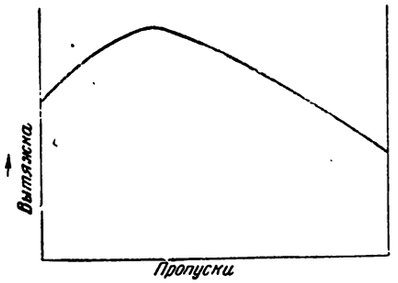



Рис. 212. Распределение вытяжек по пропускам

При калибровке валков необходимо стремиться осуществить прокатку в возможно меньшее число пропусков, наилучшим образом используя пластические свойства металла и увеличивая производительность прокатного стана.

Число пропусков при прокатке можно определить по формуле (16)

$$n = \frac{\lg \omega_0 - \lg \omega_n}{\lg \mu_c}.$$

При определении ширины калибров необходимо предусматривать простор для уширения металла, причем если простор для уширения будет мал, полоса получается с заусенцами, если же он будет большой, калибр неполностью заполняется металлом.



# *Глава XIII*

# КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОДУКТА

## 60. Калибровка валков блюминга

Валки наших блумингов в большинстве случаев имеют с одной стороны калибр шириною до 1000 *мм*.

Кроме широкого калибра на валках выточено три-четыре обычных ящичных калибра (рис. 213). Прокатка слитка вначале производится в широком калибре, затем полоса передается в обычные ящичные калибры. В задании по калибровке обычно указывается исходное сечение слитка и конечное сечение заготовки. Расчет калибровки блюминга включает: 1) предварительное определение числа пропусков; 2) выбор величины и схемы обжатия по пропускам с указанием числа и порядка кантовок.

Максимальное абсолютное обжатие при прокатке на наших блумингах достигает 65—95 *мм*, а иногда и больше, причем максимальная вытяжка $\mu_{max}$ выбирается в пределах 1,20—1,25 и выше. Среднее абсолютное обжатие не превышает 50—80 *мм*, чему соответствует средняя вытяжка $\mu_c = 1{,}15—1{,}20$.

Следует отметить, что данные вытяжки и указываемые в дальнейшем в настоящей книге отнюдь не являются неизменными. В зависимости от системы калибровки, формы калибров, конструкции прокатного стана, организации труда и др. они могут быть увеличены, что отвечает задаче увеличения производительности прокатных станов.

Прокатка слитков мягких сталей производится за 11—15 пропусков, а твердых за 15—19 пропусков в зависимости от размеров слитков и заготовки. В отдельных случаях прокатка производится и в большее (а также и в меньшее) число пропусков.

При прокатке на блуминге полосу кантуют, т. е. после пропуска поворачивают на 90°, причем для того, чтобы уничтожить конусность слитка, первую кантовку обычно производят после второго пропуска. Вообще же кантовку необходимо производить, не допуская отношения $\frac{B}{H} > 1{,}5 \div 2$, где $B$ и $H$ — ширина и толщина полосы. При прокатке качественных и легированных сталей число кантовок увеличивается.

Абсолютное уширение полосы в первых пропусках принимается равным 10—15%, а в последних двух-трех пропусках его часто принимают равным 20—25% от абсолютного обжатия.

Определив обжатие и уширение, находят поперечное сечение полосы в каждом пропуске. Зная поперечное сечение полосы,

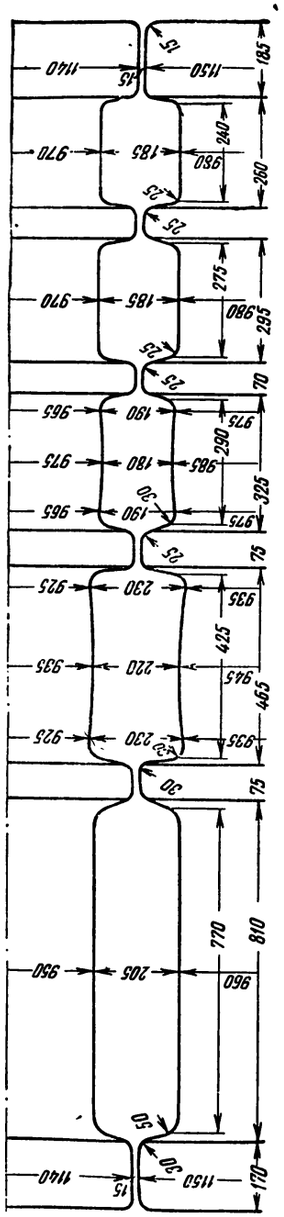



Рис. 213. Валки блуминга

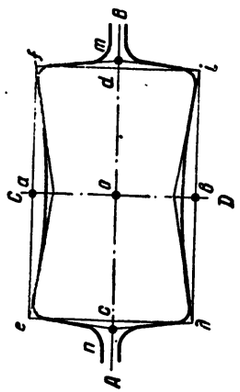



Рис. 214. Построение прямоугольного калибра



легко определить вытяжки. При определении вытяжек в первых пропусках необходимо учитывать изменение плотности слитка.

На рис. 214 показан прямоугольный калибр. Часто дно ручьев делают выпуклым для предупреждения образования бочкообразности полосы и получения заусенцев после кантовки. Кроме того, выпуклость способствует легкому и плавному захвату полосы и уменьшает удары в муфтах, причем полоса, прокатанная в калибре с выпуклым дном, приобретает большую устойчивость при движении по рольгангу.

При прокатке обычной стали кроме прямоугольных калибров у некоторых блумингов применяют калибры и другой формы. Так, например, в непрерывных блумингах применяют овальные и ромбические калибры, позволяющие осуществить значительно большую вытяжку по сравнению с прямоугольными калибрами.

## 61. Калибровка обжимных трехвалковых станов

Как правило, валки обжимных станов трио во время работы не раздвигаются. В качестве исходного материала для этих станов служат слитки малого развеса или блумы крупного сечения. В обжимных трехвалковых станах применяют прямоугольные и ромбические калибры, а также чередующиеся ромбические и квадратные, квадратные и овальные калибры. Кроме того, в одном стане возможна комбинация нескольких систем этих калибров. Обычно в обжимных станах трио первыми по ходу прокатки являются прямоугольные калибры.

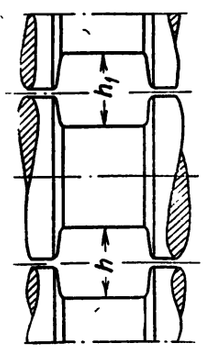



Рис. 215. Связанные (сопряженные) калибры

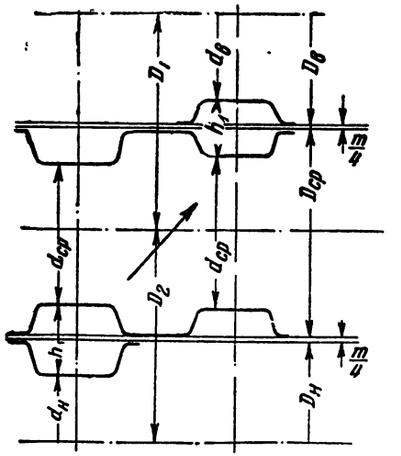



Рис. 216. Несвязанные калибры

Калибры в валках обжимных клетей трио располагаются один над другим: верхний ручей нижнего калибра является нижним ручьем верхнего калибра. Таким образом, ручьи среднего валка используются для построения нижнего и верхнего калибров. Такие калибры называются связанными или сопряженными (рис. 215).

Калибры могут располагаться также последовательно, на рядом лежащих вертикалях — один внизу, другой наверху (рис. 216). Такие калибры называются несвязанными (независимыми).

При проектировании калибровки со связанными калибрами сложность заключается в определении: 1) глубины среза в валки, 2) ширины калибра.

## 62. Прокатка по системе ромб — ромб и ромб — квадрат

Ромбические калибры применяются в обжимных клетях линейных станов, а также в непрерывных станах. Широкое применение ромбических калибров объясняется тем, что каждый ромбический калибр является предотделочным для получения квадратной заготовки соответствующего размера. Эта особенность ромбических калибров важна при широком сортаменте заготовок, прокатываемых на данном стане.

Обычно в ромбических калибрах прокатываются заготовки квадратного сечения со стороной 100—150 *мм* и ниже. Преимущества ромбических калибров по сравнению с прямоугольными следующие:

1. Из ромбического калибра путем двойной подачи в один и тот же ромб с кантовкой на 90° можно получить почти правильный квадрат. Однако это преимущество не может быть использовано на современных непрерывно-заготовочных станах, у которых в каждой клети дается только один пропуск.

2. Путем изменения зазора между валками можно получить в широких пределах размеры квадратной заготовки. Это свойство ромбических калибров имеет весьма важное значение для практики.

Недостатки ромбических калибров:

1) при одинаковой площади поперечного сечения полосы врезы ручьев примерно в 1,5 раза глубже, чем у прямоугольных калибров, что ослабляет валки и после известной глубины заставляет переходить к прямоугольным калибрам;

2) полоса неравномерно охлаждается — быстрее в углах и поэтому возможно образование вредных напряжений и трещин в углах;



3) в ромбических калибрах плохо сбивается печная окалина;
4) необходима кантовка после каждого пропуска.

Ромбические калибры характеризуются тупым углом β (рис. 217), определяющим вытяжку металла. Максимально возможные вытяжки в геометрически подобном ряде ромбических калибров определяются по формуле:

$$\mu_{макс} = \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}. \qquad (132)$$

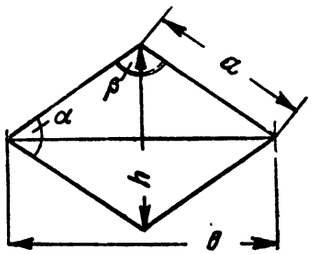


Рис. 217. Ромбический калибр

Однако при геометрически подобных ромбах нельзя брать чрезмерно большие тупые углы в вершине калибра, так как это связано с опасностью опрокидывания полосы. Это ограничивает величину вытяжки в геометрически подобных ромбических калибрах, что также является их серьезным недостатком.

Применяют два типа ромбических калибров: с углами β = 93—95° и с углами β = 97—106° и выше. Наиболее распространенным является угол 100°. Практически вытяжка в ромбических калибрах составляет 1,2—1,3. Максимальные углы захвата при прокатке в ромбических калибрах выбирают равными 26—28°. При прокатке в ромбических калибрах обычно применяют верхнее давление, которое составляет 5—6 *мм*.

Прокатка по системе ромб — квадрат применяется для получения более мелких сечений, чем при прокатке по системе ромб — ромб. Преимуществом этой системы калибровки является то, что она допускает значительно большие вытяжки по сравнению с системой ромб — ромб и, кроме того, по указанной системе можно получить более точные и чистые квадраты, что важно при прокатке квадратных и полосовых профилей. Система ромб — квадрат иногда применяется полностью от заготовки до готового профиля. В большинстве же случаев эта система входит составной частью в комбинированные калибровки.

В системе ромб — квадрат ромбические калибры применяют с углом β до 135°, причем наибольшее распространение получили ромбические калибры с углом β = 120° и квадратные с углом у вертикальной вершины 90—93°. Максимальные вытяжки в системе ромб-квадрат определяются по формуле:

$$\mu_{макс} = \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

Практически вытяжки в таких калибрах колеблются в пределах 1,30—1,50

## 63. Прокатка по системе овал — квадрат

При прокатке по системе овал — квадрат овальные калибры чередуются с квадратными.

Основные преимущества этой системы следующие:

1) система овал — квадрат позволяет работать с большими вытяжками по сравнению с системами ромб — ромб и ромб — квадрат;

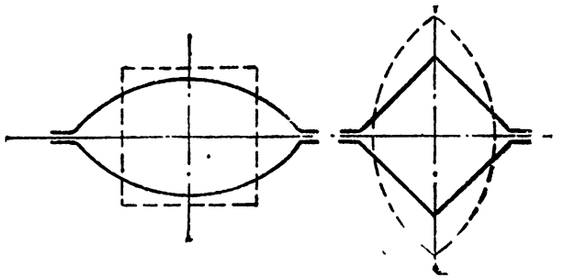


Рис. 218. Схема прокатки по системе овал—квадрат

2) при прокатке по системе овал — квадрат происходит обновление углов прокатываемой полосы, так как в овальном калибре ребра квадрата закатываются, а в квадратном они образуются уже на новом месте (рис. 218); такой характер деформации способствует равномерному охлаждению металла по всему периметру полосы;

3) качество металла при прокатке по указанной системе повышается, так как чередование кантовок на 90 и 45° улучшает структуру металла.

Недостатком системы овал — квадрат является то, что для получения хорошо выполненного овала необходимо исходную квадратную заготовку получать только из квадратных калибров.

Обычно вытяжка в овальном калибре больше, чем в квадратном. Различные же вытяжки вызывают неравномерный износ валков, а это создает дополнительные затруднения при эксплуатации прокатного стана. Калибровка по системе овал — квадрат получила наибольшее распространение на проволочных, мелкосортных и частично на среднесортных станах при прокатке простых сортовых профилей.

Характеристикой системы овал — квадрат является отношение осей овала. Овальные калибры могут конструироваться с отношением осей (ширины овала к высоте его) $b/h = 1{,}1 \div 3{,}5$ и даже больше, причем чем больше это отношение, тем большую вытяжку можно получить в данном овальном калибре.



В овальных калибрах можно получить вытяжку до 2,0, в квадратных до 1,8.

Деформацию в овальных и квадратных калибрах можно определить, пользуясь методом соответственных полос, разработанным А. Ф. Головиным. Полоса данного сечения (ромбического, овального, шестиугольного) и полоса с прямоугольным поперечным сечением называются соответственными, если площади и отношение сходственных сторон их поперечного сечения равны.

Кроме нормальных овальных калибров на наших заводах применяют овальные калибры и другой конструкции: срезанные (рис. 219 *а*) и трапецоидальные (рис. 219 *б*).

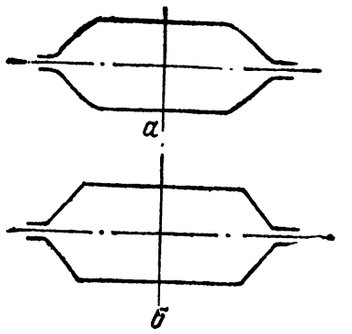



Рис. 219. Срезанный овальный (*а*) и трапецоидальный (*б*) калибры

## 64. Калибровка валков непрерывных станов

При калибровке валков непрерывных станов, у которых полоса находится одновременно в нескольких клетях, необходимо расчет размеров калибров и выбор формы их производить в зависимости от числа оборотов и рабочего диаметра валков каждой клети.

При прокатке на непрерывном стане должно соблюдаться основное правило — через любую пару валков в единицу времени, например в секунду, должно проходить одинаковое количество металла. Если это правило не соблюдается, то возможно образование петель между клетями, что расстраивает работу стана, а иногда вызывает аварии. На некоторых непрерывных станах (например, на проволочных) допускается образование петли небольшой длины между отдельными группами клетей.

Кроме указанного возможно растяжение прокатываемой полосы между клетями, которое влечет за собой получение неточного профиля и появление опасных напряжений, вплоть до разрыва металла.

На валках непрерывно-заготовочных станов обычно вытачиваются ящичные, ромбические и квадратные калибры. Валки же сортовых непрерывных станов могут снабжаться калибрами и другой, более сложной формы.

# Глава XIV

# КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ПРОСТЫХ ПРОФИЛЕЙ И ЛИСТОВ

## 65. Калибровка валков для прокатки круглых профилей

Прокатку круглой стали производят по следующим схемам: 1) квадрат — овал — круг, 2) круг — овал — круг, 3) квадрат — ступенька — ребро — овал — круг.

При прокатке по первой схеме полоса, вышедшая из квадратного калибра, кантуется на 45° и плашмя подается в предчистовой овальный калибр; по выходе из овального калибра она снова кантуется на 90° и подается в чистовой круглый калибр. В чистовой круглый калибр полоса овального сечения вводится при помощи проводки, которая удерживает полосу в вертикальном положении и предохраняет ее от скручивания. В каждом калибре полоса прокатывается по одному разу. Подобный метод допускает применение высоких вытяжек и больших скоростей прокатки и вследствие этого обеспечивает высокую производительность.

Преимуществом системы круг — овал — круг является то, что при прокатке по этой системе устраняются складки и трещины, которые иногда получаются при прокатке по системе квадрат — овал — круг. Отсутствие острых углов на прокатываемой полосе способствует более равномерному остыванию ее по сечению, вследствие чего внутренние напряжения в полосе, а также износ калибров значительно уменьшаются. При прокатке по системе круг — овал — круг поверхность полосы получается более чистой, так как в указанных калибрах металл лучше очищается от печной и воздушной окалины.

Важным преимуществом этой системы перед системой квадрат — овал — круг является более равномерное обжатие металла в калибрах.

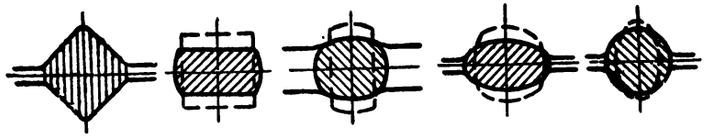


Рис. 220. Схема прокатки по системе квадрат—ступенька—ребро—овал — круг

При прокатке по системе квадрат — ступенька — ребро — овал — круг полоса, вышедшая из квадратного калибра, прокатывается сначала в ступеньке, а затем в ребровом, овальном и круглом калибрах каждый раз с кантовкой (рис. 220). Эта система



обеспечивает очистку поверхности от окалины и хорошее качество поверхности металла благодаря дополнительному обжатию полосы в ступеньке и в ребровом калибрах.

При прокатке круглых профилей на многих наших заводах чистовые калибры строят в виде геометрически правильных кругов. Применяют и другие методы построения чистовых круглых калибров. Вытяжка при прокатке полосы овального сечения в круглом чистовом калибре обычно берется в пределах $\mu = 1{,}10—1{,}20$.

Точность предчистового квадратного калибра оказывает существенное влияние на точность размеров и формы круглого сечения, так как точные размеры квадрата обеспечивают получение необходимой площади и заполнение овала.

Калибры чистовой линии: квадратные, овальные и круглые обычно располагаются на отдельных валках. Так как калибры чистовой линии быстро изнашиваются, то на валках вытачивается по нескольку калибров одного и того же размера.

Вытяжные ручьи, расположенные в черновых клетях, как правило, делаются общими для целого ряда круглых профилей.

Проволоку прокатывают из заготовки сечением $150 \times 150 \div 35 \times 35$ *мм*. При прокатке проволоки валки черновой линии обычно калибруются по системе овал — квадрат, а чистовой — квадрат — овал — круг.

В чистовом круглом калибре вытяжка колеблется в пределах 1,07—1,15, а при прокатке полосы квадратного сечения в овальном калибре в пределах 1,14 — 1,40.

Рассмотрим пример калибровки валков стана 250 *мм* для прокатки круглой стали диаметром 19 *мм*. Прокатку проводим из квадратной заготовки $55 \times 55$ *мм* по системе овал — квадрат за 8 пропусков.

Расчет производим против хода прокатки, т. е. от восьмого калибра к первому.

1. Определим размеры чистового калибра, с учетом усадки при охлаждении металла после прокатки:

$$d = 1{,}013 \cdot 19 = 19{,}2 \text{ мм}.$$

Площадь чистового калибра:

$$\omega_8 = \frac{3{,}14 \cdot 19{,}2^2}{4} = 289{,}4 \text{ мм}^2.$$

2. Общую вытяжку от предчистового квадрата (шестого калибра) к чистовому кругу возьмем равной 1,45, тогда площадь предчистового квадратного калибра:

$$\omega_6 = 289{,}4 \cdot 1{,}45 = 419 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата в шестом калибре:

$$a_6 = \sqrt{419} = 20{,}4 \text{ мм}.$$

Квадратный калибр выбираем с углом у вершины 90°. Ширина и высота квадрата

$$b_6 = h_6 = 1{,}41 \cdot 20{,}4 = 28{,}8 \text{ мм}.$$

3. В чистовом (круглом) калибре вытяжку принимаем равной 1,15, тогда площадь сечения полосы, выходящей из овального калибра:

$$\omega_7 = 1{,}15 \cdot 289{,}4 = 333 \text{ мм}^2.$$

Возьмем калибр с отношением осей овала равным 3, тогда

$$h_7 = 13 \text{ мм} \text{ и } b_7 = 39 \text{ мм}.$$

4. Принимаем вытяжку при прокатке полосы овального сечения выходящей из пятого калибра в предчистовом квадратном (шестом) калибре равной 1,15, тогда:

$$\omega_6 = 1{,}15 \cdot 419 = 482 \text{ мм}^2.$$

Отношение осей овала возьмем равным 3,2, тогда

$$h_5 = 15 \text{ мм} \text{ и } b_5 = 48 \text{ мм}.$$

5. Принимаем вытяжку в пятом (овальном) калибре при прокатке в ней полосы квадратного сечения, вышедшей из четвертого калибра, равной 1,8, тогда:

$$\omega_5 = 1{,}80 \cdot 482 = 870 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата $a_4 = \sqrt{870} \approx 29{,}5$ мм.

Квадратный калибр выбираем с углом у вершины 90°. Ширина и высота квадрата

$$b_4 = h_4 = 1{,}41 \cdot 29{,}5 = 41{,}6 \text{ мм}.$$

6. При прокатке полосы овального сечения в четвертом (квадратном) калибре примем вытяжку равной 1,4, тогда:

$$\omega_3 = 1{,}4 \cdot 870 = 1218 \text{ мм}^2.$$

Отношение осей овала возьмем равным 2,8, тогда

$$h_3 = 26 \text{ мм} \text{ и } b_3 = 72 \text{ мм}.$$

7. В третий овальный калибр задается полоса, полученная во втором прямоугольном (ящичном) калибре. Принимаем вытяжку при прокатке полосы прямоугольного сечения в овальном калибре равной 2, тогда:

$$\omega_2 = 2 \cdot 1218 = 2436 \text{ мм}^2.$$

Возьмем отношение максимальной ширины прямоугольного калибра к его высоте равным 1,2, тогда

$$h_2 = 48 \text{ мм}; \quad b_2 = 58 \text{ мм}$$

8. Во второй калибр задается полоса, полученная из первого прямоугольного (ящичного) калибра. Принимаем вытяжку во втором калибре равной 1,05, тогда

$$\omega_1 = 1{,}05 \cdot 2436 = 2556 \text{ мм}^2.$$

В первом калибре возьмем отношение максимальной ширины прямоугольного калибра к его высоте равным 2, тогда

$$h_1 = 36 \text{ мм} \text{ и } b_1 = 72 \text{ мм}.$$



9. В первый прямоугольный калибр задается квадратная заготовка $55 \times 55$ мм с округленными углами. Таким образом, вытяжка в первом калибре:

$$\mu = 3025 : 2556 = 1{,}18.$$

В табл. 9 приведены данные по калибровке круглой стали диаметром 19 мм.

*Таблица 9*

**Калибровка круглой стали диаметром 19 мм**

| Форма калибров | Размеры калибров мм | | | Угол у вершины $\alpha^\circ$ | Площадь поперечного сечения полосы $мм^2$ | Вытяжка $\mu$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | высота $h$ | ширина $b$ | сторона квадрата $a$ | | | |
| Круг | — | ⌀19,2 | — | — | 289,4 | 1,15 |
| Овал | 13 | 39 | — | — | 333 | 1,25 |
| Квадрат | 28,8 | 28,8 | 20,4 | 90 | 419 | 1,15 |
| Овал | 15 | 48 | — | — | 482 | 1,8 |
| Квадрат | 41,6 | 41,6 | 29,5 | 90 | 870 | 1,4 |
| Овал | 26 | 72 | — | — | 1218 | 2,0 |
| Прямоугольник | 48 | 58 | — | — | 2436 | 1,05 |
| Прямоугольник | 36 | 72 | — | — | 2556 | 1,18 |
| Заготовка | 55 | 55 | — | — | 3025 | — |

## 66. Калибровка валков для прокатки квадратных профилей

Прокатка квадратных профилей производится по схеме квадрат — ромб — квадрат, причем на валках чистовой линии наносятся чистовые калибры не для одного, а для серии квадратов, отвечающих определенному интервалу сортамента. На валках подготовительных клетей также наносится серия ромбических и квадратных калибров. Полоса, вышедшая из предчистового квадратного калибра, после кантовки на 90° прокатывается в чистовом ромбическом и затем снова после кантовки в чистовом квадратном калибре, причем в чистовом квадратном калибре полоса прокатывается только один раз. Во избежание свертывания ромбической полосы в чистовом квадратном калибре ее вводят в валки при помощи проводок.

Иногда в чистовой линии прокатку ведут по схеме: квадрат — ромб — ромб — квадрат, т. е. кроме чистового ромбического калибра имеется еще и подготовительный ромбический калибр.

Рассмотрим пример калибровки валков стана 250 мм для прокатки квадратной стали 12 мм. Прокатку проводим из квадратной заготовки $55 \times 55$ мм по системам: квадрат — ромб, овал — квадрат за 10 пропусков.

1. Определим размеры чистового квадратного калибра с учетом усадки при охлаждении металла после прокатки:

$$a = 1{,}015 \cdot 12 = 12{,}2 \text{ мм}.$$

Площадь чистового квадратного калибра

$$\omega_{10} = 12{,}2^2 = 148{,}8 \text{ мм}^2.$$

Квадратный калибр выбираем с углом у вершины 90°.

2. Принимаем вытяжку в чистовом квадратном калибре $\mu = 1{,}08$, тогда площадь чистового ромбического калибра будет равна:

$$\omega_9 = 1{,}08 \cdot 148{,}8 = 161 \text{ мм}^2.$$

Возьмем у ромбического калибра угол $\beta = 120°$. Из выражений

$$\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{b}{h} \quad \text{и} \quad h = \frac{2\omega_9}{b}$$

определим горизонтальную и вертикальную диагонали ромба:

$$h_9^2 = \frac{2{,}161}{1{,}732} = 191 \text{ мм}^2,$$

откуда

$$h_9 = 13{,}8 \text{ мм}$$

$$b_9 = \frac{2 \cdot 161}{13 \cdot 8} = 23 \text{ мм}.$$

3. В чистовом девятом ромбическом калибре принимаем вытяжку 1,25. Тогда площадь восьмого (квадратного) калибра будет:

$$\omega_8 = 1{,}25 \cdot 161 = 202 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата $a_8 = \sqrt{202} = 14{,}2$ мм.

Квадратный калибр выбираем с углом у вершины 91°30′, тогда горизонтальная диагональ квадратного калибра $b_8 = 20{,}4$ мм, а вертикальная $h_8 = 19{,}8$ мм.

4. В предчистовом квадратном калибре принимаем вытяжку равной 1,35. Тогда площадь седьмого (чернового ромбического) калибра равна:

$$\omega_7 = 1{,}35 \cdot 202 = 273 \text{ мм}^2.$$

Угол $\beta$ у ромбического калибра принимаем равным 117°.

Определим диагонали ромбического калибра

$$\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{b}{h} \quad \text{или} \quad b = 1{,}632\,h$$

$$h = \frac{2\omega_7}{b} = \frac{2 \cdot 273}{1{,}632\,h},$$

откуда

$$h^2 = 335 \text{ и } h_7 \approx 18 \text{ мм}$$

$$b = \frac{2 \cdot 273}{18}; \quad b_7 \approx 30 \text{ мм}.$$

5. В следующем черновом ромбическом (седьмом) калибре принимаем вытяжку равной 1,15, тогда площадь шестого (квадратного) калибра

$$\omega_6 = 1{,}15 \cdot 273 = 314 \text{ мм}^2.$$



Сторона квадрата

$$a_6 = \sqrt{314} \approx 18 \text{ мм}.$$

Квадратный калибр выбираем с углом у вершины 90°, тогда диагонали квадрата

$$h_6 = b_6 = 1{,}41 \cdot 18 = 25{,}4 \text{ мм}.$$

6. В шестом калибре вытяжку принимаем также 1,15, тогда площадь пятого (овального) калибра равна

$$\omega_5 = 1{,}15 \cdot 314 = 361 \text{ мм}^2.$$

Как указывалось выше, овальные калибры могут конструироваться с отношением осей 1,1 · 3,5. Пусть отношение осей у овального калибра равно 3. Возьмем $h_5 = 13{,}4$ мм и $b_5 = 40$ мм.

7. В пятом калибре вытяжку принимаем равной 1,90, тогда площадь четвертого (квадратного) калибра равна:

$$\omega_4 = 1{,}90 \cdot 361 = 686 \text{ мм}^2.$$

Сторона квадрата

$$a_4 = \sqrt{686} \approx 26 \text{ мм}.$$

Квадратный калибр выбираем с углом у вершины 90°, тогда диагонали квадрата

$$h_4 = b_4 = 1{,}41 \cdot 26 \approx 37 \text{ мм}.$$

8. В четвертом калибре вытяжку принимаем равной 1,35, тогда площадь третьего (овального) калибра равна

$$\omega_3 = 1{,}35 \cdot 686 = 926 \text{ мм}^2.$$

Выбираем отношение осей у овального калибра 3,5. Возьмем $h_3 = 20$ мм и $b_3 = 70$ мм.

9. В третьем калибре вытяжку принимаем равной 1,80, тогда площадь второго (прямоугольного) калибра равна

$$\omega_2 = 1{,}8 \cdot 926 = 1667 \text{ мм}^2.$$

Возьмем отношение максимальной ширины прямоугольного калибра к его высоте равным 1,25, тогда

$$h_2 = 38 \text{ мм} \quad \text{и} \quad b_2 = 48 \text{ мм}.$$

10. Во втором калибре вытяжку принимаем равной 1,51, тогда площадь первого (прямоугольного) калибра равна:

$$\omega_1 = 1{,}51 \cdot 1667 = 2517 \text{ мм}^2.$$

Возьмем отношение максимальной ширины прямоугольного калибра к его высоте равным 2, тогда:

$$h_1 = 36 \text{ мм} \quad \text{и} \quad b_1 = 72 \text{ мм}.$$

11. В первый калибр задается квадратная заготовка $55 \times 55$ мм с округленными углами. Таким образом, вытяжка в первом калибре будет

$$\mu = 3025 : 2517 \approx 1{,}20.$$

В табл. 10 приведены данные по калибровке квадратной стали 12 *мм*.

*Таблица 10*

**Калибровка квадратной стали 12 *мм***

| Форма калибров | Размеры калибров *мм* | | | Угол у вершины β° | Площадь поперечного сечения калибра *w*, *мм*² | Относительная вытяжка *f*, % | Вытяжка μ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | высота *h* | ширина, *b* | сторона квадрата *a* | | | | |
| Квадрат | 17,2 | 17,2 | 12,2 | 90° | 148,8 | 8,2 | 1,08 |
| Ромб | 13,8 | 23,0 | — | 120° | 161,0 | 25,4 | 1,25 |
| Квадрат | 19,8 | 20,4 | 14,2 | 91°30 | 202,0 | 35,0 | 1,35 |
| Ромб | 18,0 | 30,0 | — | 117° | 273,0 | 15,0 | 1,15 |
| Квадрат | 25,4 | 25,4 | 18,0 | 90° | 314,0 | 15,0 | 1,15 |
| Овал | 13,4 | 40,0 | — | — | 361,0 | 90,0 | 1,90 |
| Квадрат | 37,0 | 37,0 | 26,0 | 90° | 686,0 | 35,0 | 1,35 |
| Овал | 20,0 | 70,0 | — | — | 926,0 | 80,0 | 1,80 |
| Прямоугольник | 38,0 | 48,0 | — | — | 1667,0 | 51,0 | 1,51 |
| Прямоугольник | 36,0 | 72,0 | — | — | 2517,0 | 20,0 | 1,20 |
| Заготовка | 55,0 | 55,0 | — | — | 3025,0 | — | — |

## 67. Калибровка валков для прокатки полосовых профилей

Полосовым называется профиль прямоугольного сечения со слегка притупленными краями шириной от 12 до 200 *мм*. Стальные полосовые профили делятся на: 1) собственно полосовую сталь, 2) инструментальную полосовую сталь, 3) сутуночную полосу — заготовка для прокатки тонких листов, 4) штрипсы — заготовка для прокатки сварных труб, 5) обручную сталь, 6) шинную сталь, 7) рессорную сталь и др.

Прокатка полосовой стали может производиться в калибрах, на ступенчатых валках и в универсальных станах, причем в последнем случае толщина полосы определяется положением горизонтальных валков, а ширина — положением вертикальных валков.

При калибровке валков для прокатки полосовой стали основными вопросами являются определение размеров заготовочного квадрата, числа калибров и обжатий по пропускам.

Сторона заготовочного квадрата определяется по формуле:

$$a = \frac{b + kh}{1 + k}, \qquad (133)$$

где $b$ — ширина готовой полосы в горячем состоянии;
$h$ — толщина готовой полосы в горячем состоянии;
$k$ — показатель уширения (А. П. Чекмарев рекомендует значения показателя $k$, приведенные в таблице 11).



*Таблица 11*

**Показатель «k» для уширения полос разных размеров по А. П. Чекмареву**

| Размеры полос | Значения показателя k по А. П. Чекмареву | |
|---|---|---|
| | при прокатке на гладкой бочке | при прокатке в калибрах |
| Тонкие и узкие | 0,60—0,75 | 0,25—0,35 |
| Средние по толщине и ширине | 0,45—0,60 | 0,18—0,25 |
| Толстые и широкие | 0,30—0,45 | 0,12—0,18 |

Действительно, по простейшей формуле уширения:

$$B_2 - B_1 = k(H - h),$$

что в наших обозначениях дает:

$$b - a = k(a - h),$$

откуда

$$a = \frac{b + kh}{1 + k}.$$

Число калибров находят исходя из суммарного высотного обжатия $\frac{a}{h}$, сообразуясь со средним возможным обжатием, после чего распределяют обжатия по пропускам с постепенным их уменьшением.

Полосовая сталь шириной от 80 до 200 *мм* обычно прокатывается в калибрах. Сущность прокатки полосовой стали в калибрах заключается в том, что заготовочный квадрат расплющивается в ряде плоских калибров в полосу заданной толщины и ширины. Во избежание получения заусенцев калибры для прокатки полосовой стали всегда строятся закрытыми, причем таким образом, чтобы один калибр был повернут относительно другого на 180° (рис. 221). Последний пропуск при прокатке тонкой и широкой полосовой стали производится не в калибре, а на гладких валках, называемых полировочными.

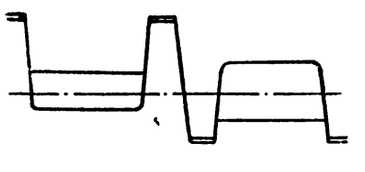


Рис. 221. Калибры для прокатки полосовой стали

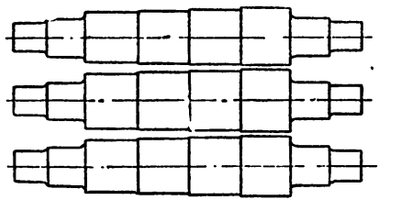


Рис. 222. Ступенчатые валки для прокатки полосовой стали

В ступенчатых валках (рис. 222) можно прокатывать в станах трио широкий сортамент полосовой стали. На бочке этих вал-

ков имеется несколько ступенек с различным зазором между валками. Зазор между валками в каждой ступеньке образует калибр. Так как прокатка полосы производится в каждой ступеньке на гладкой поверхности валков и со свободным уширением, то полоса получается с неровными и закругленными кромками.

Для устранения указанных недостатков, для удаления окалины с поверхности полосы, а также для получения необходимой ширины полосы последняя после прокатки на ступенчатых валках кантуется на 90° и прокатывается в ребровом калибре. После ребрового калибра дают последний проход на полировочных валках с небольшим обжатием, чтобы боковые грани полосы вновь не получили искажений.

На ступенчатых валках полосы прокатываются шириной не более 100 *мм*, так как при большей ширине полоса коробится при прокатке в ребровом калибре.

В отделочном калибре обжатие полос рекомендуется давать не более 1—1,5 *мм*, а в предотделочном не более 2—3 *мм*. Ширина ступеньки выбирается равной ширине самой широкой полосы, прокатываемой на стане, плюс 50 *мм*; при прокатке же узких полос ширина ступеньки должна быть кратной ширине полосы.

Вертикальное обжатие в ребровом калибре допускается в 5—20% от ширины задаваемой полосы. Конструкция ребрового калибра показана на рис. 223. Вогнутость $f$ предназначена для получения острых кромок полосы при прокатке на полировочных валках. Величина вогнутости $f = 0{,}4—0{,}8$ *мм*. При прокатке полос с закругленными углами вогнутости не делают. Ширину дна калибра делают равной толщине подаваемой в него полосы. В ребровой калибр полоса направляется при помощи специальных направляющих проводок, устанавливаемых в коробке. Иногда для лучшей очистки полосы от окалины или в случае большого размера заготовочного квадрата применяют два ребровых калибра.

## 68. Калибровка валков для прокатки листов

Прокатные валки, и в особенности листовые, под действием больших давлений подвергаются упругим деформациям — сплющиванию и прогибу. Однако благодаря разогреву валки получают некоторую бочкообразность, отчасти компенсирующую предыдущие деформации. Все же в результате прокатки листы получают различную толщину по ширине. Разница между толщиной листа по середине и по кромкам может превосходить допуски по ГОСТ.

Толстые листы, у которых допуски по толщине значительно больше, чем разница толщин по середине и по кромкам, прокатываются на валках с цилиндрической поверхностью.

При прокатке среднелистовой стали на станах трио со средним тонким валком в целях устранения неравномерности, а также для



получения листов с минусовыми допусками и компенсации износа средний валок выполняется выпуклым. Обычно верхний и нижний валки работают по нескольку месяцев, а средний меняется примерно каждую неделю.

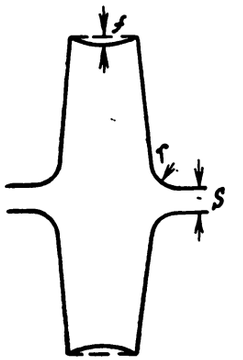



Рис. 223. Ребровой калибр

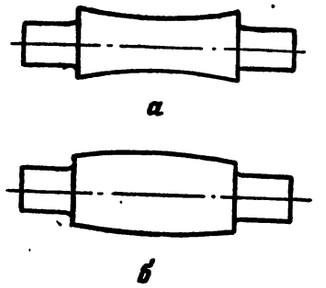



Рис. 224. Валки для горячей *а* и холодной *б* тонколистовой прокатки

Горячекатаные и холоднокатаные тонкие листы имеют значительно более жесткие допуски по толщине. Горячая прокатка тонких листов на клетях дуо с верхним неприводным валком обычно производится на так называемых горячих шейках. При этом температура шеек достигает 250° и более, а температура валков — 400° и даже больше. Так как температура середины длины бочки больше, чем на краях, то увеличение диаметра в средней части также больше, чем на краях. Вследствие этого прокатку тонких листов в горячем состоянии, несмотря на сплющивание и прогиб, производят в валках с более или менее вогнутой бочкой (в холодном состоянии, рис. 224, *а*). Величина вогнутости выбирается в зависимости от размеров прокатываемых листов, темпа прокатки и других факторов. Для получения равномерной толщины у холоднокатаных листов прокатка их производится на выпуклых валках (рис. 224, *б*), так как разогрев валков в этом случае незначителен.

Если прокатка листов в холодном состоянии производится с обжатиями не выше 1—2% за пропуск (так называемая дрессировка листов), то можно применять валки с цилиндрической поверхностью.

# Глава XV

# КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ И УГЛОВОЙ СТАЛИ

## 69. Калибровка валков для прокатки сложных профилей

Прокатка в прямоугольных калибрах производится с соблюдением правила постоянства обжатий во всех частях поперечного сечения профиля. При прокатке круглых и квадратных профилей правило не соблюдается, но при простой форме этих профилей неравномерность обжатия не оказывает существенного влияния на качество проката. Прокатка же сложных фасонных профилей с равномерным обжатием вообще не может быть осуществлена. Так, для получения швеллера принимаются заготовки квадратной или прямоугольной формы, которая резко отличается от сечения швеллера, и поэтому необходимо полосе в разных частях ее ширины давать различные обжатия.

Обычно неравномерные обжатия сообщаются в первых пропусках, когда полоса имеет максимальную температуру. В последующих же калибрах стремятся давать одинаковые обжатия во всех частях калибра.

Второй особенностью калибровки фасонных профилей является наличие бокового обжатия. Боковое обжатие возникает вследствие того, что участки прокатываемой полосы обрабатываются стенками калибра, вращающимися с различной скоростью.

Рассмотрим рис. 225. Если скорость на линии *AB* принять за 100%, то на линии *CD* скорость катающих поверхностей будет меньше 100%, так как радиус валка на линии *CD* меньше, чем на линии *AB*, а в точках *E* и *G* меньше, чем на линии *CD*. Вследствие этого стенка балки будет тянуть за собой участки металла, заключенные в нижних фланцах калибра. Деформация металла в нижних фланцах — *QQ* будет напоминать процесс волочения. В точках *K* и *L* скорость будет меньше чем 100%, а в точках *M* и *N* больше 100%, и деформация металла заключенного в верхних фланцах *OO*, будет отвечать обработке между жерновами.

Такой характер деформации вызывает уменьшение толщины фланца *x*, другими словами металл в верхних фланцах испытывает боковое обжатие. Указанное явление не имеет места при прокатке в ящичных, квадратных, ромбических, овальных и круглых калибрах.

Третьей особенностью калибровки фасонных профилей является наличие вынужденного уширения. Примером вынужденного уширения является образование тонкого фланца рельсовой подошвы при прокатке в ребровом калибре (рис. 226).

Четвертой особенностью калибровки фасонных профилей является то, что при калибровке профиль разбивается на части простейшей формы и каждая часть калибруется в отдельности, при этом размеры каждой части в процессе калибровки увязываются с размерами всего профиля.



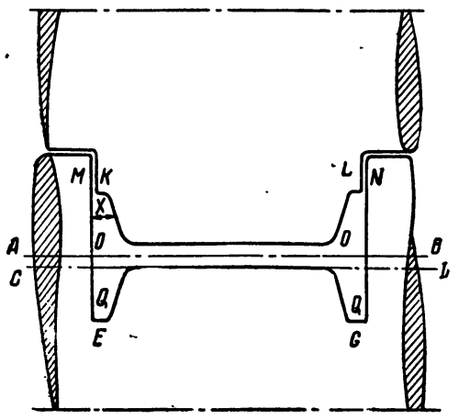



Рис. 225. Калибр для прокатки двутавровой балки

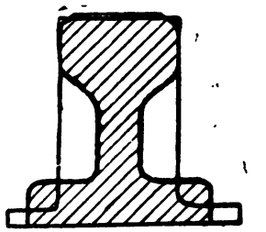
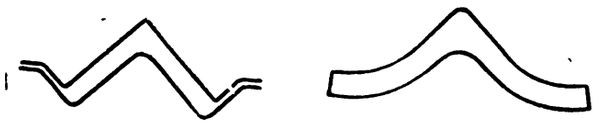


Рис. 226. Образование тонких фланцев рельсовой подошвы за счет вынужденного уширения при прокатке в ребровом калибре

## 70. Калибровка валков для прокатки угловой стали

Угловая сталь представляет полосу, обе половины которой согнуты под прямым углом. Изгибание полосы производится постепенно в ряде фасонных калибров, обычно в четырех, пяти или шести в зависимости от размеров и марки стали угольника. Угольники прокатываются равнобокие и неравнобокие.



*а* *б*

Рис. 227. Калибры с прямыми *а* и развернутыми *б* стенками для прокатки угловой стали

Известны два основных способа калибровки угловой стали: 1) калибровка с прямыми стенками (рис. 227, *а*) и 2) развернутая калибровка (рис. 227, *б*).

На наших заводах предчистовые и подготовительные угловые калибры выполняются развернутыми, а чистовые с прямыми стенками. Калибровка промежуточных калибров с прямыми стенками

вытеснена с наших заводов, поэтому на ней останавливаться не будем.

Вытяжка $\mu$ при прокатке равнобоких и неравнобоких уголков колеблется в пределах:

| | |
|---|---|
| для чистовых калибров | — 1,05—1,25; |
| для предчистовых калибров | — 1,10—1,40; |
| для подготовительных калибров | — 1,10—1,80. |

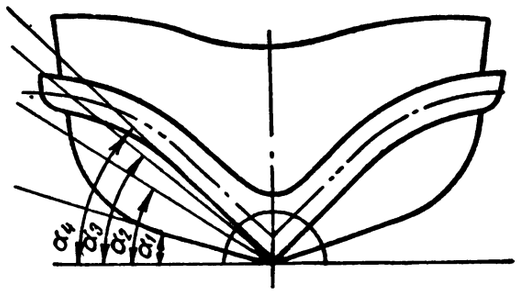


Рис. 228. Закрытие полок в калибрах для прокатки угловой стали

Одним из важнейших параметров развернутого калибра является угол закрытия полок $\alpha$, который образуется полкой угольника с горизонталью (рис. 228).

Д. И. Старченко [32] рекомендует брать углы закрытия в первом калибре $\alpha_1 = 20°$; во втором калибре $\alpha_2 = 32°$; в третьем калибре $\alpha_3 = 40°$; в четвертом калибре $\alpha_4 = 45°$.

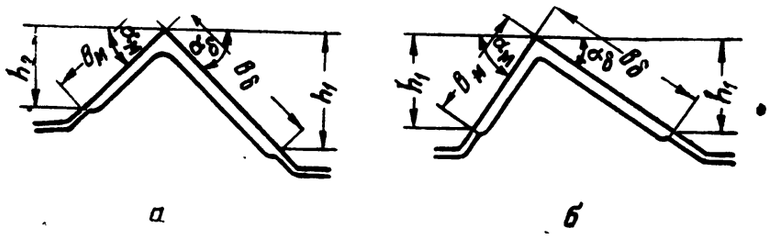
Во всех остальных калибрах углы закрытия берутся равными 45°.

Чистовой калибр для прокатки равнобокой угловой стали располагают в валках симметрично относительно вертикали, проходящей через вершину уголка. Обычно прокатка в чистовом калибре производится со свободным уширением. Путем регулировки положения валков возможно получить уголки с различной толщиной полки. Таким образом, в чистовом угловом калибре получают все уголки одного и того же номера и даже двух смежных номеров.

Чистовые калибры в валках для прокатки неравнобокой, угловой стали могут быть расположены по одному из следующих способов: 1) углы закрытия малой и большой полок равны между собой, т. е. $\alpha_м = \alpha_б$, в этом случае вертикальные проекции полок неодинаковы (рис. 229, *а*); 2) углы закрытия малой и большой полок не равны, т. е. $\alpha_м \neq \alpha_б$, и в этом случае вертикальные проекции полок равны (рис. 229, *б*).



Недостатком первого способа является неуравновешенность осевых усилий, действующих со стороны большой и малой полки. Этот недостаток способствует быстрому износу буртов подшипников, результатом чего является разнотолщинность полок. Второй



*а* *б*

Рис. 229. Расположение чистовых калибров в валках для прокатки неравнобокой угловой стали

способ расположения чистовых калибров благодаря уравновешенности валков обеспечивает получение уголков с одинаковыми по толщине обеими полками.

Построение неравнобоких развернутых угловых калибров почти ничем не отличается от построения равнобоких развернутых угловых калибров (рис. 230). Кроме равнобокой и неравнобокой угловой стали развернутый метод может быть применен при калибровке правильных и неправильных зетовых профилей, швеллеров, а также зетообразных и корытных шпунтов.

На рис. 231 приведена схема калибровки валков для прокатки уголка 75 × × 75 × 8 *мм*.

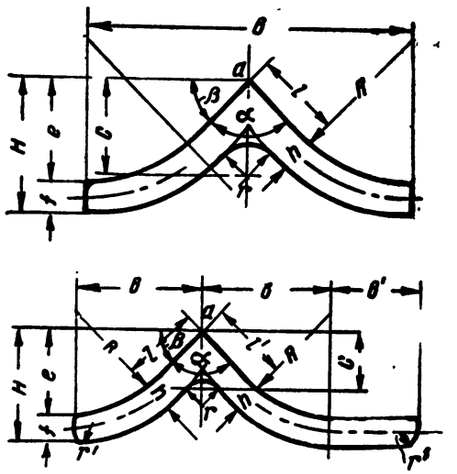


Рис. 230. Построение калибров с развернутыми стенками для прокатки равнобокой и неравнобокой угловой стали

## 71. Калибровка валков для прокатки двутавровых балок

Двутавровые балки представляют фланцевый профиль, в котором оси отдельных элементов расположены под некоторым углом к соединяющей их части. В СССР двутавровые балки постав-

ляются по сортаменту, включающему профили от № 10 до № 60.

Прокатка двутавровых балок производится по одному из следующих способов: 1) прокатка в прямых калибрах (рис. 232, *а*), 2) прокатка в наклонных калибрах (рис. 232, *б*) и 3) прокатка широкополочных балок на специальных универсальных станах (рис. 232, *в*).

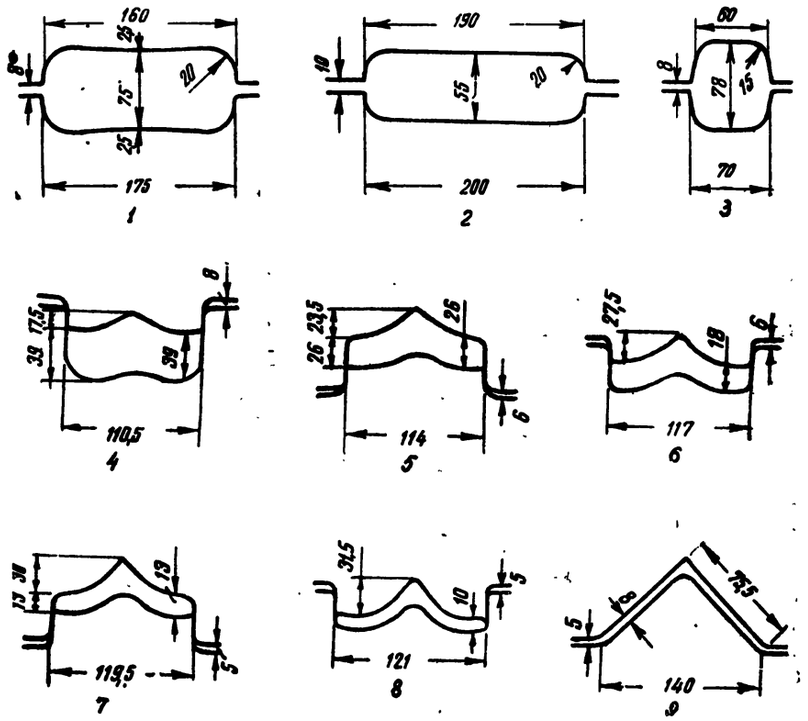



Рис. 231. Схема калибровки валков для прокатки уголка 75×75×8 *мм* за 9 пропусков на стане 500 *мм*

На наших заводах прокатка двутавровых балок производится главным образом по первому способу — в прямых калибрах. Прямоугольная заготовка получает форму двутавровой балки уже в первом фасонном калибре, называемом разрезным (разрезывающим), а при прокатке крупных номеров балок профилировка заготовки начинается еще на блуминге.

В наклонных калибрах возможно прокатывать балки с большим обжатием и без уширения; недостатком этих калибров яв-



ляется более глубокий их врез в валки, наличие значительных осевых усилий, затрудняющих прокатку, и тенденция к искривлению, скручиванию выходящей полосы. На универсальных станах прокатывают балки с высокими и тонкими фланцами. Стан обычно имеет два горизонтальных и два вертикальных валка.

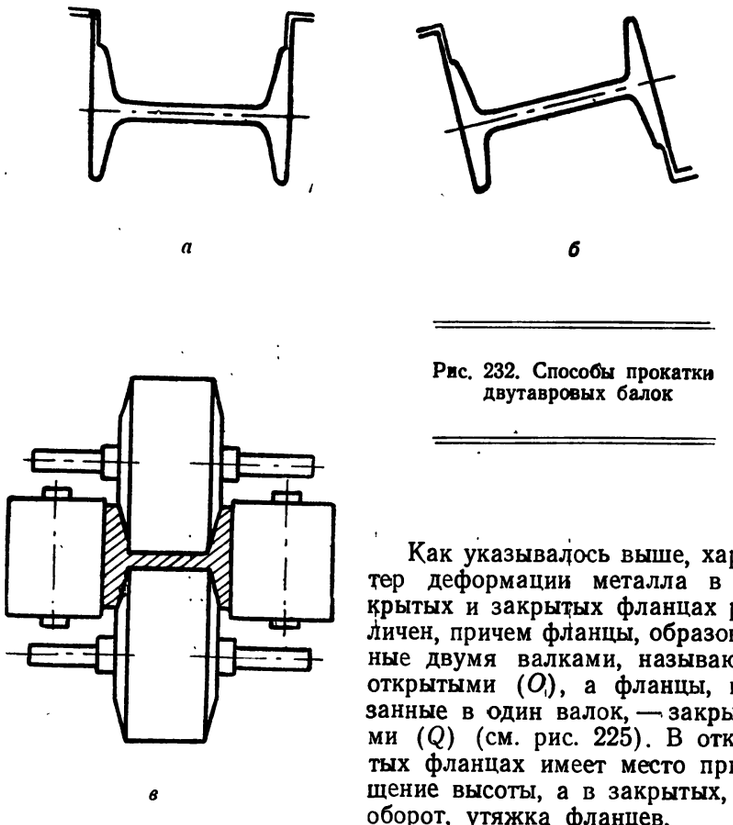



Рис. 232. Способы прокатки двутавровых балок

Как указывалось выше, характер деформации металла в открытых и закрытых фланцах различен, причем фланцы, образованные двумя валками, называются открытыми ($O$), а фланцы, врезанные в один валок, — закрытыми ($Q$) (см. рис. 225). В открытых фланцах имеет место приращение высоты, а в закрытых, наоборот, утяжка фланцев.

Вследствие того что в открытых фланцах происходит приращение высоты, а в закрытых, наоборот, утяжка, деформация фланцев балки происходит попеременно в открытых и закрытых фланцах калибра. Это достигается тем, что калибры вытачиваются в валках таким образом, что открытые фланцы располагаются сначала сверху, затем снизу и т. д. Другими словами, расположение открытых и закрытых фланцев калибра чередуется. Этим достигается как бы кантование двутавровой балки.

Число пропусков при прокатке двутавровых балок зависит от величины выбираемых коэффициентов вытяжки. Ниже приведена зависимость числа пропусков от номера профиля:

| Номер профиля | 10—12 | 12—18 | 18—27 | 24—60 |
|---|---|---|---|---|
| Число пропусков в фланцевых калибрах . . . . . | 6—8 | 7—9 | 8—11 | 10—15 |
| Диаметр валков, *мм* . . . . | 350—500 | 400—650 | 500—950 | 600—950 |

Вытяжками за каждый пропуск обычно задаются. Они, как правило, уменьшаются к чистовому калибру. На наших заводах вытяжки в чистовых пропусках колеблются в пределах от 1,07 до 1,15, а в черновых — до 1,5—1,7, причем обжатия в первых пропусках по ходу прокатки чаще всего лимитируются условиями захвата, в последних же — прочностью валков или износом чистового калибра.

*Таблица 12*

**Примерные значения вытяжек при прокатке двутавровых балок**

| № калибра | Значения вытяжек, балка № 16 | № калибра | Значения вытяжек, балка № 33 |
|---|---|---|---|
| 1 | Разрезной | 1 | Разрезной |
| 2 | 1,60 | 2 | 1,35 |
| 3 | 1,50 | 3 | 1,38 |
| 4 | 1,40 | 4 | 1,38 |
| 5 | 1,33 | 5 | 1,38 |
| 6 | 1,25 | 6 | 1,26 |
| 7 | 1,18 | 7 | 1,26 |
| 8 | 1,10 | 8 | 1,20 |
| | | 9 | 1,14 |
| | | 10 | 1,08 |

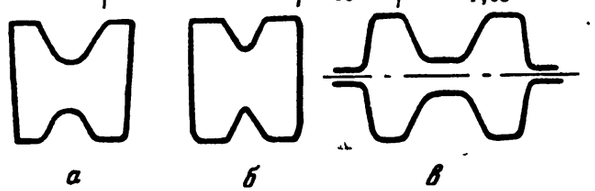



Рис. 233. Форма разрезных калибров

В табл. 12 приведены примерные значения вытяжек по пропускам при прокатке двутавровых балок.

Двутавровые балки можно катать в станах дуо и в станах трио, причем в последнем случае прокатку можно вести как в связанных, так и в несвязанных калибрах.

Прямоугольная заготовка с высотой несколько большей высоты калибра задается вначале в разрезной калибр (рис. 233). На

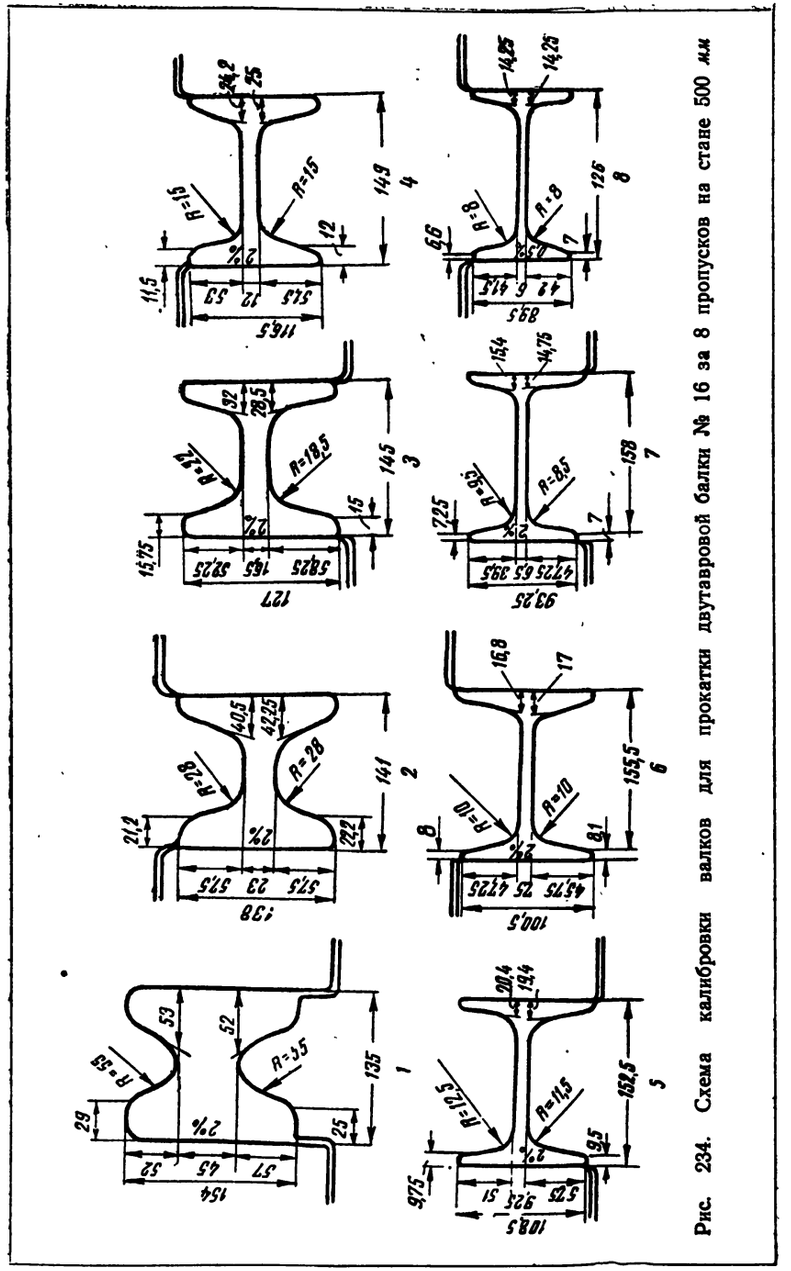


Рис. 234. Схема калибровки валков для прокатки двутавровой балки № 16 за 8 пропусков на стане 500 *мм*

условия заполнения калибра металлом, а также на расход энергии при прокатке в разрезном калибре большое влияние оказывает угол клина. По данным различных действующих калибровок угол клина колеблется в пределах 44—45°.

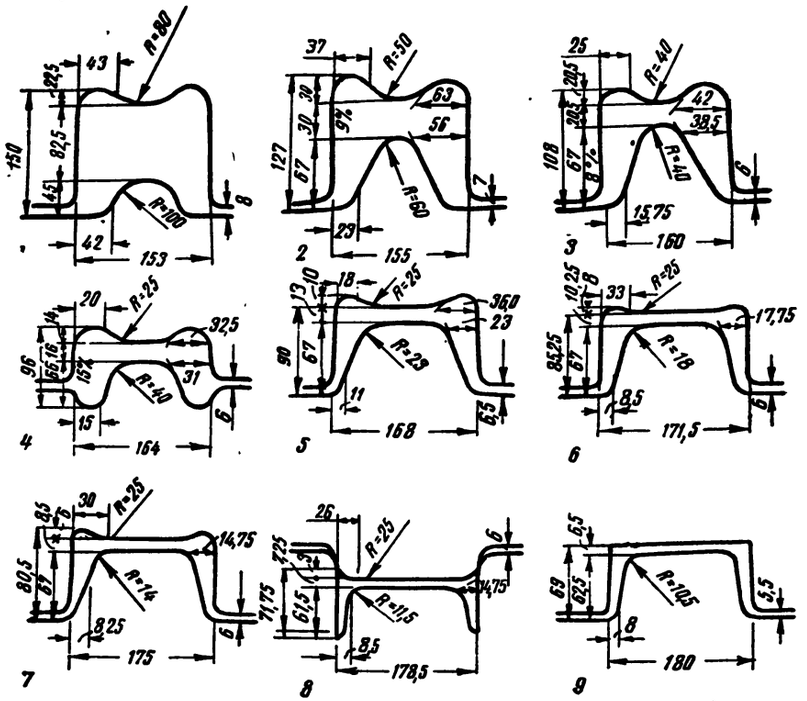



Рис. 235. Схема калибровки валков для прокатки швеллера № 18 за 9 пропусков на стане 500 *мм*

При прокатке балок крупных размеров, например № 45, 50, 55 и 60, часто вместо закрытых разрезных калибров (рис. 233, *а* и *б*) применяют разрезные калибры с разъемом посредине (рис. 233, *в*).

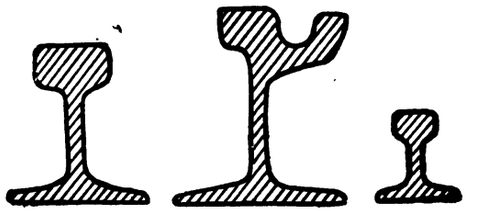
На рис. 234, 235 показаны схемы калибровки валков для прокатки двутавровой балки № 16 и швеллера № 18 на стане 500 *мм*.

## 72. Калибровка валков для прокатки рельсов

Рельсы, представляющие фланцевый профиль, состоят из подошвы, головки и шейки. На наших заводах прокатывают рельсы железнодорожные, трамвайные и узкоколейные (рис. 236). Основной характеристикой рельсов является вес погонного метра. Ниже приведена характеристика основных типов рельсов.



| Тип рельсов | Вес 1 *пог. м* кг |
|---|---|
| Железнодорожные: | |
| 50 | 50,5 |
| 43 | 43,5 |
| 38 | 38,4 |
| Трамвайные | 100 ÷ 200 |
| Узкоколейные | 7 ÷ 24 |



*а* *б* *в*

Рис. 236. Различные виды рельсов:
*а* — железнодорожные; *б* — трамвайные; *в* — узкоколейные

Достижением нашей металлургической промышленности является освоение более тяжелых железнодорожных рельсов весом 65 *кг/пог. м*.

Рельсы прокатываются из мартеновской и бессемеровской стали с содержанием углерода 0,50—0,78%.

Прокатка рельсов вызывает трудности, так как рельсовые калибры несимметричны относительно своей вертикальной оси, вследствие чего при прокатке возникают большие боковые давления, в результате которых толщина подошвы увеличивается, а толщина головки в открытом фланце уменьшается.

Для получения удовлетворительного профиля необходимо в первых пропусках прокатку вести со значительной неравномерной деформацией. Вследствие неравномерной деформации в первых пропусках в металле возникают внутренние напряжения, легко устраняемые в последующих пропусках, в которых стремятся давать равномерные обжатия во всех частях профиля. Для обеспечения равномерного обжатия в последующих пропусках профиль прокатывают в специальных ребровых калибрах трапецоидальной формы (рис. 237). В связи с этим современные схемы прокатки рельсов предусматривают кроме фасонных один или несколько ребровых калибров, причем при прокатке тяжелых железнодорожных рельсов необходимо иметь не менее девяти фасонных калибров, а при прокатке узкоколейных — не менее шести. Рацио-

нальная схема калибровки железнодорожных рельсов показана на рис. 238.

Рельсовые калибры в валках могут иметь прямое расположение (см. рис. 237) и наклонное — «косая калибровка» (см. рис. 238). Косая калибровка имеет как преимущества, так и недостатки.

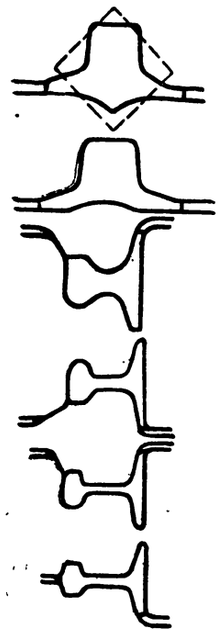


Рис. 237. Рельсовые калибры

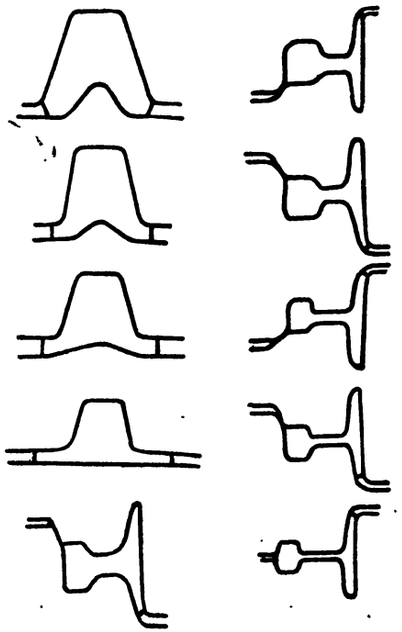


Рис. 238. Пример калибровки рельсов

Чистовой рельсовый калибр в валках должен располагаться таким образом, чтобы со стороны головки разъем был по оси симметрии, а со стороны подошвы за пределами вреза калибра, другими словами, один из фланцев подошвы калибруется закрытым, а другой открытым.

Первый по ходу прокатки рельсовый калибр является разрезным, причем разрезающие гребни рельсовых калибров делают более тупыми, чем у балочных.

Ребровые калибры, кроме указанного, применяются для образования тонких и высоких фланцев. Коэффициенты обжатия высоты в ребровых калибрах колеблются в пределах 1,1—1,3.



В рельсовых калибрах общий коэффициент деформации шейки несколько больше, чем головки и подошвы. Так, при прокатке тяжелых железнодорожных рельсов общие коэффициенты деформации для фланцев головки и подошвы принимают в пределах 1,9—2,4. Общий же коэффициент деформации для шейки берется в 1,5—2 раза больше, чем общие коэффициенты деформации для фланцев головки и подошвы.

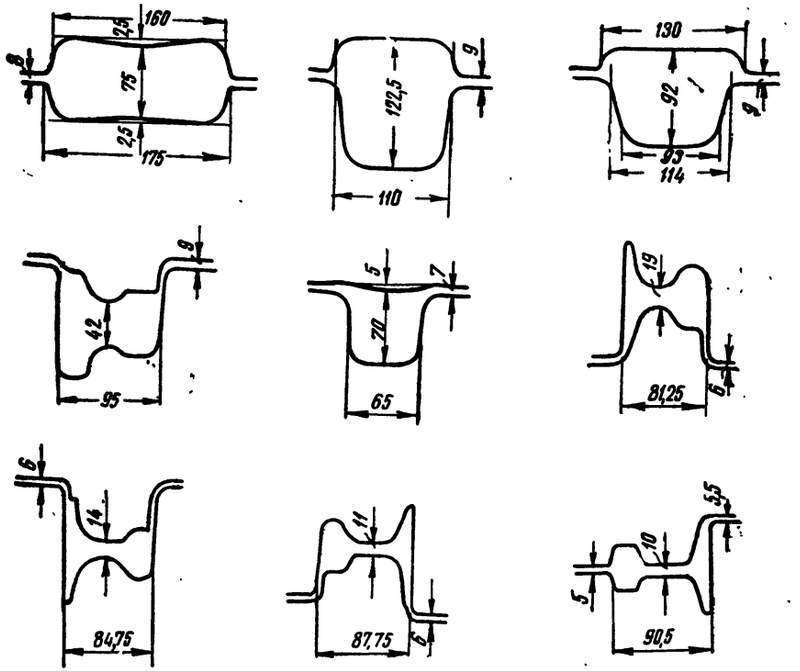



Рис. 239. Схема калибровки валков для прокатки рельсов весом 18 *кг/пог. м* за 9 пропусков на стане 500 *мм*

На рис. 239 приведена схема калибровки валков для прокатки рельсов весом 18 *кг/ пог. м* за 9 пропусков на стане 500 *мм*.

# Глава XVI

# НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С КАЛИБРОВКОЙ

## 73. Понятие об арматуре рабочих валков

Для облегчения подачи в валки и для лучшего направления прокатываемого металла при его выходе из валков применяются специальные направляющие линейки или желоба, называемые проводками. Блуминги, слябинги, броневые и некоторые другие станы проводками не оборудуются, и подача металла в валки и его выход из валков осуществляются непосредственно с роликов и на ролики рольгангов.

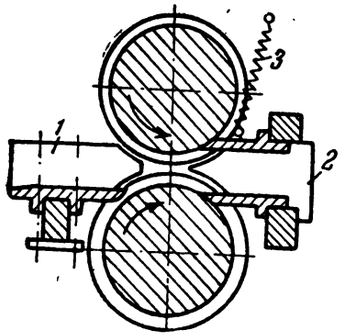



Рис. 240. Проводки:
*1* — вводные; *2* — выводные; *3* — пружина

Проводки бывают двух типов: вводные и выводные. Проводки, предназначенные для направления прокатываемой полосы при ее входе в валки, называются вводными, а при ее выходе из валков — выводными (рис. 240). Проводки устанавливаются на опорных брусьях, которые в свою очередь помещаются между станинами в специальных пазах.

Проводки изготовляются из стали или чугуна, они должны быть прочными, а крепление их надежным, чтобы прокатываемая полоса при входе и выходе из валков не могла увлечь их с собой.

Вводные проводки в зависимости от прокатываемого профиля бывают разного типа и укрепляются таким образом, чтобы носик их не соприкасался с валками. Весьма целесообразным устройством вводных проводок являются роликовые проводки, применение которых, к сожалению, ограничено нижним пределом сечения полосы. При прокатке листов, а также для ромбических калибров применяют проводки в виде горизонтальных линеек, которые носят название проводковых досок. Проводковые доски, отлитые иногда за одно целое с проводковым брусом, называются проводковыми скамейками. В ряде случаев проводки изготовляются в виде жолоба. Такого типа проводки применяют как для одного калибра, так и для нескольких калибров сразу. В тех случаях, когда прокатываемую полосу необходимо удерживать от скручивания, применяют приемные коробки. Приемные коробки изготовляются в большинстве случаев из стали и прикрепляются



болтами к опорному брусу (рис. 241). Проводки, вставляемые в коробку, называются пропусками.

Наличие верхнего или нижнего давления может привести к оковыванию валков. Для предупреждения оковывания валков применяют выводные проводки, называемые ножами. Ножи для нижнего валка одним концом лежат на опорном брусе, а другим — на валке (рис. 242, *а*). Ножи для верхнего валка прижимаются к поверхности валка при помощи пружины или противовеса (рис. 242, *б*).

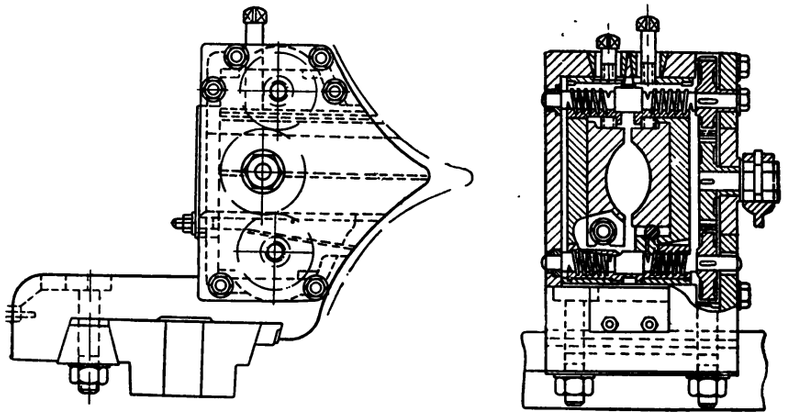


Рис. 241. Приемная коробка

При работе прокатного стана необходимо тщательно следить за положением вводных и выводных проводок, так как перекос их и плохое крепление приводят к аварии вследствие того, что прокатываемая полоса может попасть под нож и оковать валок, либо попасть в зазор между буртами валков, а это вызывает аварию стана.

При прокатке на непрерывных станах применяются автоматические проводки для передачи прокатываемой полосы из одного калибра в другой с одновременным кантованием на необходимый угол. Полоса при своем движении от момента входа в проводку до поступления в калибр следующей клети повертывается на соответствующий угол кантования. В последнее время введена весьма рациональная конструкция кантовальных роликов, располагаемых непосредственно на клети со стороны выхода полосы из валков.

На сортовых линейных станах, работающих с большой скоростью, часто устанавливают обводные проводки, которые называются обводными аппаратами. Обводные аппараты служат для автоматической подачи прокатываемой полосы из одного калибра в другой одной и той же клети, или из одной клети в другую

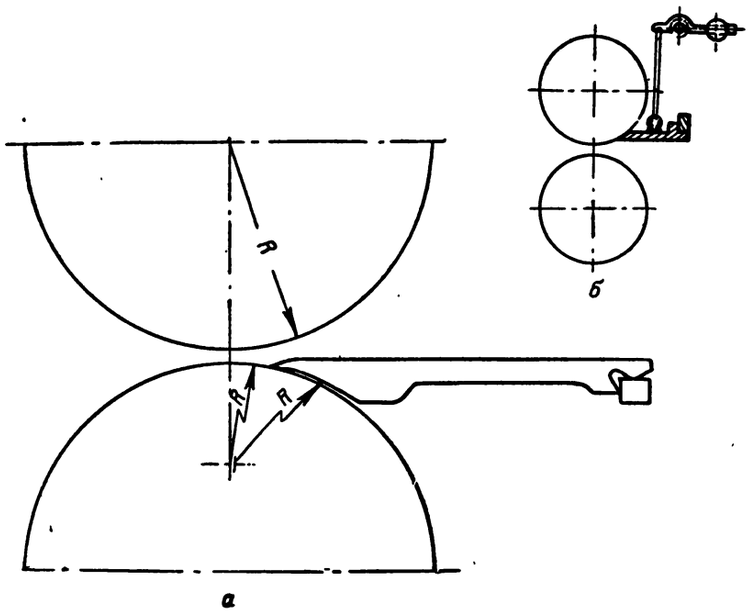



Рис. 242. Ножи для валков:
*а* — для нижнего; *б* — для верхнего

с одновременным кантованием на необходимый угол, обычно на 180°. После задачи в следующий калибр полоса выходит из аппарата и образует петлю между двумя клетями. На рис. 243 показан обводной аппарат для передачи полосы из калибра в калибр в одной и той же клети, а на рис. 244 для передачи полосы из одной клети в другую. Кроме указанных применяют и другие проводки с автоматической подачей полосы и ленты.

Применение автоматических проводок на прокатных станах в значительной мере облегчает труд вальцовщика и ускоряет процесс прокатки, повышая производительность станов.

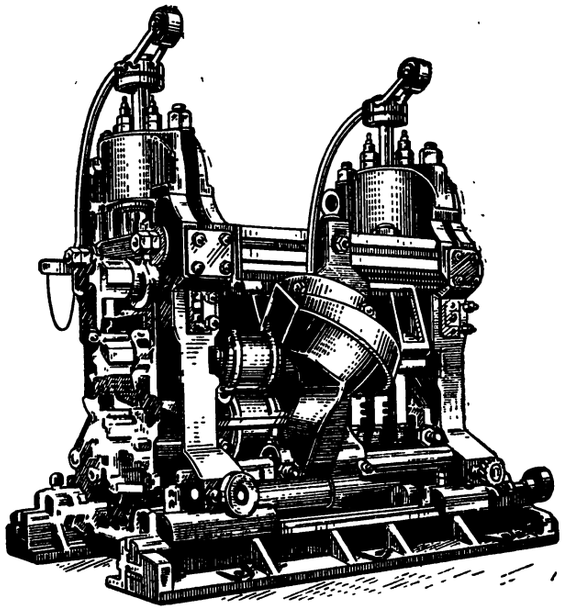


Рис. 243. Обводной аппарат для передачи полосы из калибра в калибр в одной и той же клети

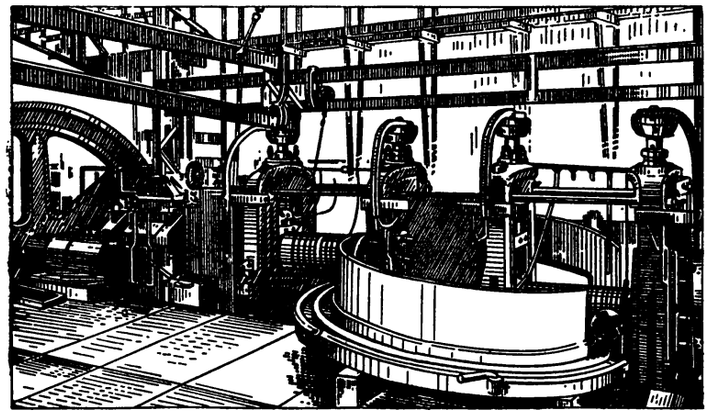


Рис. 244. Обводной аппарат для передачи полосы из одной клети в другую

## 74. Настройка прокатного стана

Настройка прокатного стана заключается в выверке положения валков; необходимо, чтобы оси их были расположены строго параллельно без перекоса. Центры валков выверяются по отвесу и должны находиться на одной прямой. В станах трио особое внимание следует обращать на установку среднего валка, не допуская перекосов его.

Неправильная установка валков вызывает свертывание полосы и повышенный износ муфт, соединительных валков и трефов.

Во время настройки стана проверяется правильность продольной установки валков, а также зазор между ними. При настройке стана зазор между шейками валков и вкладышами не должен быть большим, нельзя в то же время допускать и большого зажатия шеек.

Опорные брусья для проводок, линеек и коробок устанавливаются по уровню — горизонтально.

При прокатке, особенно в несимметричных калибрах, возникает осевое давление, которое вызывает не только износ буртов вкладышей, но также дополнительные усилия в подушках, винтах, планках и других деталях. Для устранения осевого перемещения валков следует производить регулировку подушек с вкладышами в осевом направлении при помощи специальных планок и винтов, а также при помощи приливов в подушках.

Перемещение валков по направлению прокатки происходит из-за неплотной пригонки подушек в просветах станин или вследствие большой разработки подушек и станин.

Различают ручную и автоматическую настройку стана.

Ручная настройка стана периодически осуществляется старшим вальцовщиком или мастером. При настройке стана необходимо учитывать падение температуры полосы по длине ее, неравномерность нагрева заготовки в печи, деформацию частей стана, износ вкладышей подушек, а также износ калибров. Для того, чтобы можно было судить о качестве настройки стана, от заднего конца, имеющего более низкую температуру, отрезается проба. Разница между размерами заднего конца и на чертеже не должна быть больше установленного допуска. Кроме того, обращается внимание на то, чтобы поперечное сечение пробы точно соответствовало чертежу профиля.

Для автоматической настройки прокатного стана необходимо автоматически действующее устройство для получения постоянного зазора между валками. Регулировать зазор между валками при прокатке листов и полос можно при помощи летучих микрометров электрического типа. Однако при больших скоростях прокатки, а также при прокатке более сложных профилей пользоваться летучими микрометрами весьма затруднительно и подчас невозможно.

А. П. Чекмаревым с сотрудниками [24] было разработано и внедрено в промышленность устройство для автоматического контроля и восстановления зазора до первоначальной величины, состоящее из следящего прибора, панели автоблокировки и нажимного механизма.

Применение устройства для автоматического контроля зазора между валками дало возможность получать круглые, квадратные и полосовые профили с допусками порядка $\pm 0{,}1$ 0,07 *мм*, т. е. с точностью в 5 раз большей, чем в обычных условиях ручной настройки стана.



## 75. Пороки продукта, являющиеся результатом неправильной калибровки и настройки валков

От того, насколько правильно выполнена калибровка валков и их настройка, в значительной мере зависит качество прокатного продукта — точность профиля, качество его поверхности и др. Ряд пороков, получающихся на прокатанных полосах, является результатом неправильной калибровки и настройки валков. Рассмотрим некоторые такие пороки.

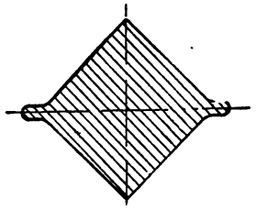


Рис. 245. Заусенцы на квадратной полосе

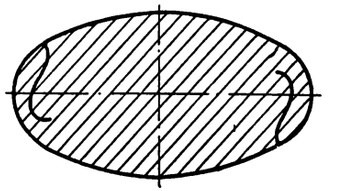


Рис. 246. Закаты на овальной полосе

З а у с е н ц ы (рис. 245) получаются в тех случаях, когда в данный калибр из предыдущего поступает больше металла, чем требуется по расчету, или подача полосы в калибр задерживается, температура ее понижается, а в связи с этим уширение увеличивается.

З а к а т (рис. 246) представляет собой закатанные заусенцы. Заусенцы, например, у квадратной полосы при дальнейшей прокатке в овальном калибре образуют складки. Так как заусенцы всегда покрыты слоем окислов, то они никогда не свариваются с основным металлом полосы.

С м е щ е н и е п р о ф и л я и неправильная форма его (рис. 247) получается в чистовой клети как результат осевого сдвига валков и неправильно установленной коробки.

С е р п о в и д н о с т ь (рис. 248). Полоса из валков выходит не прямой, а в виде серпа. Обычной причиной этого порока является осевой перекос валков (может сказываться и разнотолщинность заготовки по краям).

П л е н ы (рис. 249) представляют собой наслоения металла на поверхности проката и могут получаться от насечки валков, а также при срезании боковой поверхности полосы, когда ширина ее несколько больше ширины калибра.

Ц а р а п и н ы (рис. 250) вызываются дефектами прокатной арматуры, в особенности проводок и пропусков, возникают также при прохождении полосы по неправильно установленным проводкам.

Кроме указанных встречаются и другие пороки, являющиеся результатом неправильной калибровки и настройки валков.

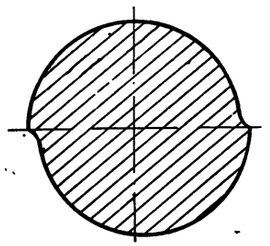


Рис. 247. Смещение при прокатке круглой полосы

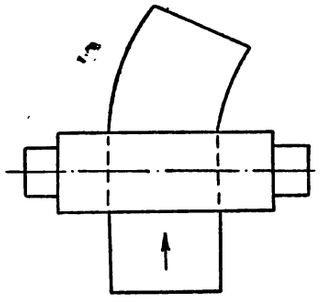


Рис. 248. Серповидность полосы

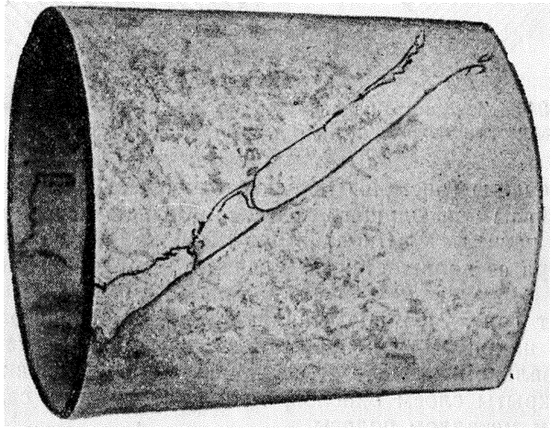


Рис. 249. Плены

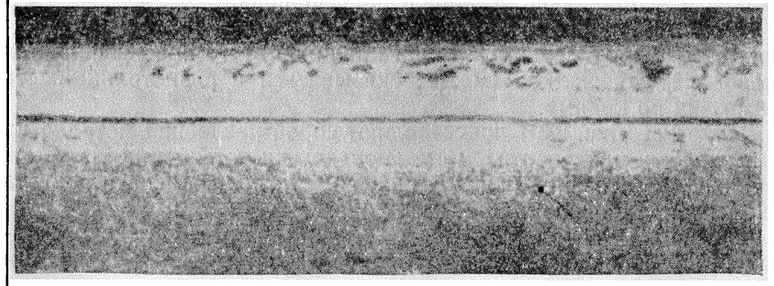


Рис. 250. Царапины (риски)



*Глава XVII*

# ОБЩАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА В ПРОКАТНЫХ ЦЕХАХ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

## 76. Общая схема производства в прокатных цехах

Исходным материалом для прокатного производства являются слитки большей частью квадратного или прямоугольного сечения и в некоторых случаях круглого сечения при производстве специальной стали, труб, колес и бандажей.

По самой старой, типичной для дореволюционной России, схеме производства прокатные цехи работают непосредственно на слитках различного мелкого развеса в зависимости от прокатываемого профиля и размеров стана.

Следующая схема производства в прокатных цехах появилась в конце прошлого столетия и была вызвана промышленным подъемом, в первую очередь усиленным железнодорожным строительством. На заводах, построенных в этот период, были установлены блуминги, которые обжимали слитки весом 2—3 *т* в заготовку, идущую на рельсобалочные станы, вся же сортовая и листовая сталь продолжала прокатываться из мелких слитков развеса соответственно каждому прокатному стану.

Характерной особенностью современных прокатных цехов является обязательное наличие в них блуминга или слябинга как основных агрегатов, связывающих сталеплавильный цех и прокатные станы, выпускающие готовый продукт.

Исходным материалом современных крупных прокатных цехов служат слитки крупного развеса: от 5 до 8 *т* и более при прокатке сортового металла и от 5 до 25 *т* и более при прокатке листового металла.

Мартеновский цех, переходя на гораздо более выгодное для него литье крупных слитков, передает роль поставщика исходного материала разнообразного сортамента для каждого отдельного стана самому прокатному цеху. Для выполнения этой роли в заготовочном отделении современных прокатных цехов, кроме слябинга при производстве листового продукта, устанавливаются блуминги и непрерывные заготовочные станы при производстве сортового проката.

Для того, чтобы работать производительно, блуминг должен обрабатывать слитки в заготовку (блум) крупного сечения раз-

мерами 200 × 200 ÷ 350 × 350 *мм*, а для дальнейшего уменьшения сечения блума в заготовку различного размера (которая бы удовлетворяла программу работы станов, выпускающих готовый продукт) предназначен заготовочный стан.

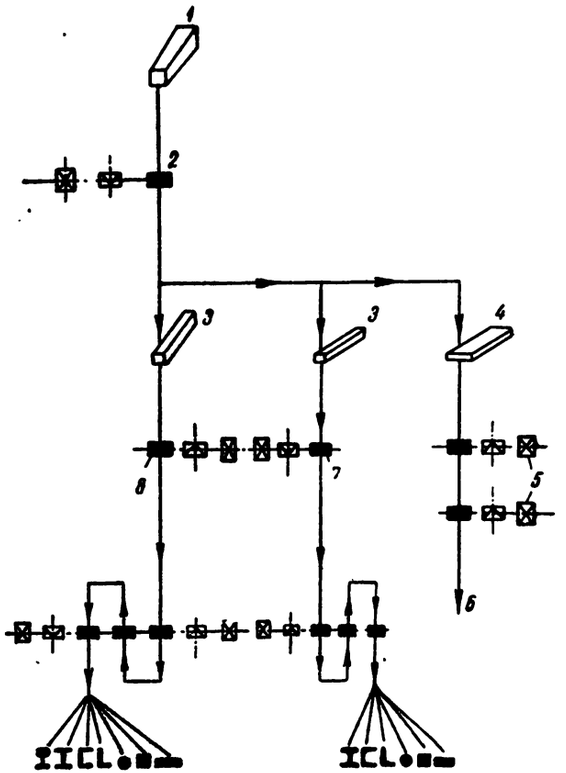



Рис. 251. Общая схема производства в современных прокатных цехах (вариант 1):

*1* — слитки 5—8 *т*; *2* — блуминг 1150 *мм*; *3* — блумы; *4* — слябы; *5* — толстолистовой стан; *6* — толстые листы; *7* — крупносортный стан 650 *мм*; *8* — рельсобалочный стан 850 *мм*

Таким образом, современное прокатное производство делится на две стадии: слиток — заготовка и заготовка — готовый продукт.

На рис. 251 представлена общая схема производства в современном прокатном цехе. Первое производственное звено этого цеха — заготовочное отделение — состоит из одного дуо-реверсивного блуминга с валками диаметром 1150 *мм*. Второе производственное звено состоит из трех станов окончательной прокатки, предназначенных для выпуска сортового и листового металла. Непрерывнозаготовочный стан отсутствует, так как установленные в нем станы окончательной прокатки не требуют мелкой заготовки.

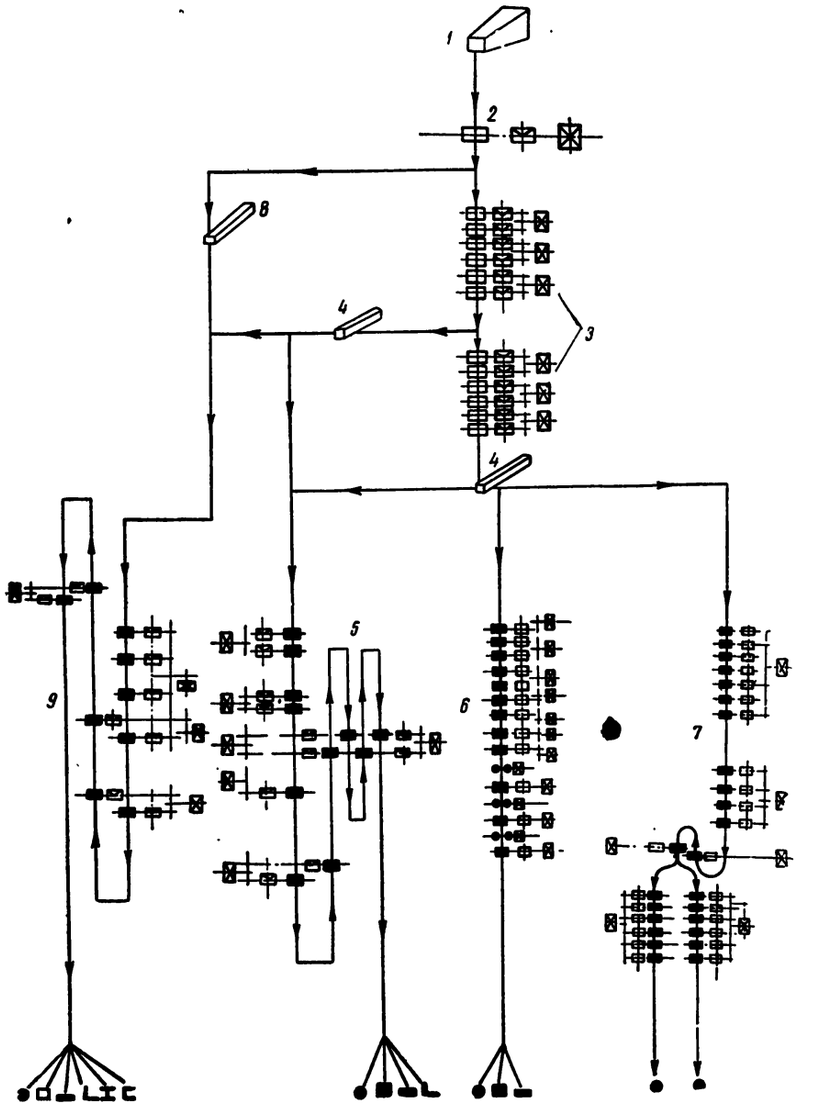



Рис. 252. Общая схема производства в современных прокатных цехах (вариант 2):

*1* — слитки 5—8 *т*; *2* — блуминг 1150 *мм*; *3* — непрерывнозаготовочный стан; *4* — заготовки; *5* — среднесортный стан 350 *мм*; *6* — мелкосортный стан 250 *мм*; *7* — проволочный стан 250 *мм*; *8* — блумы; *9* — крупносортный стан 540 *мм*

Исходным материалом для этих станов служат крупные заготовки — блумы и слябы, поступающие с блуминга.

На рис. 252 представлена вторая схема производства в современном прокатном цехе. В отличие от первой схемы, заготовочное отделение этого цеха состоит из одного дуо-реверсивного блуминга с валками диаметром 1150 *мм* и непрерывнозаготовочного стана из двух групп по шесть клетей в каждой. Непрерывнозаготовочный стан прокатывает мелкие заготовки до сечения 50 × 50 *мм*, идущие на мелкие сортовые станы.

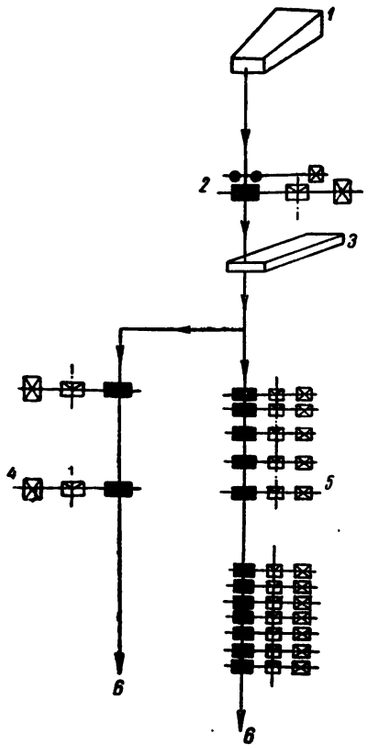



Рис. 253. Общая схема производства в современных прокатных цехах (вариант 3):

*1* — слитки 5—20 *т*; *2* — слябинг 1100 *мм*; *3* — слябы; *4* — толстолистовой стан кварто; *5* — непрерывный листовой стан; *6* — листы

На рис. 253 представлена третья схема производства в современном прокатном цехе, заготовочное отделение которого состоит из одного дуо-реверсивного слябинга с валками диаметром 1100 *мм*, который снабжает крупными заготовками — слябами два листопрокатных стана.

Прокатка из заготовки повышает производительность прокатных станов, способствует большей точности прокатки и повышает качество готового продукта.

Главным фактором увеличения производительности прокатных станов является повышение скорости прокатки.

Наибольших размеров скорость прокатки достигла на непрерывных станах и составляет 30 *м/сек*. На остальных же станах, особенно старых, скорость прокатки ниже этой величины.

Одновременно с повышением скоростей прокатки должна решаться задача осуществления максимальных обжатий на прокатных станах при повышенных скоростях и повышенной точности прокатки.

Весьма важным фактором, способствующим повышению производительности прокатных станов, является дифференциация производственного процесса, которая наибольшей степени достигает на непрерывных станах. Непрерывная прокатка начала развиваться в последние 20—25 лет и является, по существу, современным этапом развития прокатной техники, а полная реализация огромных возможностей ее — задачей будущего.



Производительность прокатных станов можно значительно повысить и за счет увеличения веса исходных материалов. Размеры и вес исходных блумов, слябов и заготовок за последнее время постепенно увеличивались с одновременным повышением скорости прокатки. Дальнейшее повышение скоростей прокатки позволит также увеличить и вес исходных материалов.

Необходимо отметить и такой важный фактор повышения производительности прокатных станов, как механизация и автоматизация производственного процесса.

Развитие прокатного производства все время сопровождалось повышением качества выпускаемых прокатных изделий, что достигалось за счет улучшения конструкции рабочих клетей, улучшения материала и конструкции вкладышей для обеспечения качественной смазки, перехода на валки с короткой бочкой при прокатке сортового металла, перехода на многовалковые станы при прокатке листов и ленты, развития холодной прокатки, введения современных методов зачистки полупродукта, введения термической обработки, введения автоматического контроля и регулирования режима производственных процессов и пр.

Дальнейшее развитие непрерывной прокатки и полная механизация производственных процессов в прокатных станах обеспечивают высокое качество продукта, резкое сокращение брака, экономное использование металла и огромное повышение производительности прокатных станов и труда.

## 77. Часовая производительность стана

Технически возможную часовую производительность прокатного стана можно выразить формулой:

$$A = \frac{3600 \cdot G}{T}, \qquad (134)$$

где 3600 — число секунд в одном часе;

$G$ — вес слитка или заготовки, *т*;

$T$ — ритм прокатки — время от начала прокатки предыдущего слитка — заготовки до начала прокатки следующего слитка, сек.

Эта формула показывает, что часовая производительность стана прямо пропорциональна весу заготовки и обратно пропорциональна ритму прокатки. Поэтому увеличение веса исходных материалов — слитков и заготовок — почти всегда желательно, так как может значительно повысить часовую производительность стана.

Если прокатный стан состоит из одной рабочей клети, то в случае прокатки без перекрытия ритм прокатки для такого стана будет представлять собой время от начала прокатки слитка до начала прокатки следующего слитка. Обозначая время каждого пропуска или машинное время через $T_м$ и паузы — через $T_п$, можно написать:

$$T = \Sigma T_м + \Sigma T_п, \qquad (135)$$

где $\Sigma T_м$ — сумма времени всех пропусков;
$\Sigma T_п$ — сумма времени всех пауз.

Чем больше дифференцирован процесс прокатки, тем больше клетей имеет стан, тем меньше ритм прокатки. Наибольшая дифференциация процесса прокатки достигнута у непрерывных прокатных станов, где в каждой клети производится только один пропуск, причем время пропуска в каждой клети одинаково. В этом случае ритм прокатки будет равен времени пропуска плюс время паузы между концом прокатки предыдущей и началом прокатки следующей полосы в одной клети, т. е.

$$T = T_м + T_п, \qquad (136)$$

где $T_м$ — время пропуска полосы в одной клети;
$T_п$ — время паузы между концом прокатки предыдущей и началом прокатки следующей полосы в одной клети.

Рассмотрим кратко определение ритма прокатки для отдельных прокатных станов.

## 78. Определение производительности одноклетьевого заготовочного прокатного стана трио

Такие станы с валками диаметром 800—850 *мм* применяются на старых металлургических заводах или заводах с небольшим объемом производства для прокатки слитков весом 0,8—1,5 *т* в заготовку сечением 120 × 120—150 × 150 *мм*.

Ритм прокатки для этого стана представляет собой время от начала прокатки предыдущего до начала прокатки следующего слитка, т. е.

$$T = \Sigma T_м + \Sigma T_п.$$

Время каждого пропуска можно определить по формуле:

$$T_м = \frac{L}{v}, \qquad (137)$$

где $L$ — длина полосы после пропуска;
$v$ — скорость прокатки.



Так как такого типа станы имеют постоянное число оборотов валков, то скорость прокатки определяется по формуле:

$$v = \frac{\pi Dn}{60}, \qquad (138)$$

где $D$ — катающий (рабочий) диаметр валков;
$n$ — число оборотов в минуту.

Паузы между пропусками при прокатке в одноклетьевых заготовочных станах трио требуются для поперечного перемещения прокатываемой полосы от калибра к калибру, подъема и опускания полосы подъемными столами и кантовку полосы и зависят от степени механизации стана.

## 79. Определение производительности одноклетьевого дуо-реверсивного блуминга

Ритм прокатки на этом стане определяется уравнением (135).

В отличие от предыдущих станов, число оборотов в этих станах в течение пропуска меняется (рис. 254). Захват полосы валками происходит при числе оборотов $n_1$, затем число оборотов повышается до максимального $n_2$ для данного пропуска и затем к концу пропуска уменьшается до $n_3$. Если обозначить через $t_1$ время периода ускорения от $n_1$ до $n_2$, через $t_2$ — время периода постоянной скорости и через $t_3$ — время периода замедления от $n_2$ до $n_3$, то время пропуска будет равно:

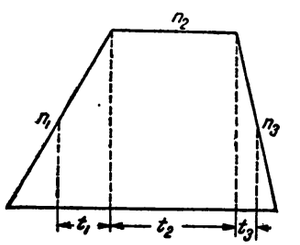


Рис. 254. Изменение числа оборотов во времени у реверсивных станов

$$T_м = t_1 + t_2 + t_3. \qquad (139)$$

Время периодов ускорения и замедления можно определить по формулам:

$$t_1 = \frac{n_2 - n_1}{a}; \qquad (140)$$

$$t_3 = \frac{n_2 - n_3}{b}, \qquad (141)$$

где $a$ — ускорение и $b$ — замедление валков по характеристике мотора стана, об/мин за секунду

Соответствующие этим периодам средние скорости прокатки можно определить по формулам:

$$v_1 = \frac{\pi D (n_2 + n_1)}{120}; \qquad (142)$$

$$v_3 = \frac{\pi D (n_2 + n_3)}{120}. \quad (143)$$

Тогда длины полос, прокатываемых за эти периоды, будут равны:

$$l_1 = v_1 t_1; \quad (144)$$

$$l_3 = v_3 t_3. \quad (145)$$

Так как полная длина полосы

$$L = l_1 + l_3 + l_3,$$

то длина полосы, прокатываемая за период постоянной скорости, равна

$$l_2 = L - l_1 - l_3. \quad (146)$$

Определив скорость прокатки при постоянном числе оборотов по формуле

$$v_2 = \frac{\pi D n_2}{60},$$

можно определить время периода постоянной скорости по уравнению

$$t_2 = \frac{l_2}{v_2}. \quad (147$$

Число оборотов $n_2$ в период постоянной скорости зависит от длины полосы и увеличивается по мере увеличения длины полосы. Что касается числа оборотов при захвате $n_1$ и выпуске $n_3$, то при выборе их необходимо учитывать возможность обеспечения минимального времени прокатки в каждом пропуске и минимальных пауз между пропусками, а следовательно наивысшей производительности стана.

Однако необходимо иметь в виду, что с увеличением числа оборотов увеличивается удар при захвате полосы и отбрасывание ее от валков при выпуске, а также увеличивается пауза между пропусками.

При прокатке на блуминге имеются пропуски, после которых следует кантовка полосы. В этом случае желательно число оборотов при выпуске принимать максимально возможным, чтобы отбросить полосу к кантовальным крючкам и этим самым сократить время кантовки. Если же после пропуска кантовки нет, то желательно остановить полосу ближе к валкам, что достигается возможно меньшим числом оборотов при выпуске или встречным (обратным) вращением роликов рольганга.

При прокатке на блуминге имеются две категории пауз:

1) паузы без кантовки полосы, включающие реверсирование двигателя стана, установку верхнего валка и передвижение слитка по рольгангу;

2) паузы с кантовкой полосы, включающие, кроме указанных операций, еще кантовку полосы и передвижение ее линейками манипулятора.

Все операции в каждой паузе совмещаются во времени, чем достигается сокращение времени паузы до минимума. Время пауз без кантовки на современных блумингах 1,5—2 сек., а с кантовкой 3,5—4,5 сек.



Необходимо отметить, что производительность блуминга возрастает значительно медленнее от увеличения веса слитка при сохранении конечного сечения блума, чем от увеличения конечного сечения блума при сохранении веса слитка.

Это обстоятельство вызывает стремление прокатывать на блуминге максимально возможное сечение полупродукта ( с учетом возможности прокатки этого полупродукта на заготовочных станах и станах окончательной прокатки).

## 80. Определение производительности многоклетьевого стана

В этом случае применяется построение графика работы стана во времени, предложенного инж. Адамецким.

Рассмотрим сначала построение графика работы многоклетьевого стана линейного типа, общая продолжительность прокатки одной полосы в котором складывается из продолжительности прокатки в отдельных клетях и пауз для передачи полосы из клети в клеть.

Ритм прокатки у такого стана тем меньше, чем больше клетей и чем равномернее распределена продолжительность прокатки по клетям (отсутствие узких мест).

На рис. 255 изображен график работы рельсобалочного стана, состоящего из четырех клетей, расположенных в две линии. Первая линия этого стана состоит из одной реверсивной клети дуо с валками диаметром 900 *мм*; вторая линия состоит из двух клетей трио и одной дуо с валками диаметром 800 *мм*.

По горизонтальной оси этого графика отложено время в секундах, а по вертикальной оси — номера клетей стана. Продолжительность пропуска показана на графике жирной линией по горизонтали, соответствующей данной клети, а паузы между пропусками — свободным промежутком между двумя жирными линиями; передача полосы из одной клети в другую показана на графике косыми линиями.

Как видно из графика, узким местом в работе этого стана является первая клеть трио 800 *мм*. Ритм прокатки в этом случае равен 49 сек. В целях уменьшения ритма прокатки на этом стане можно прокатку следующей полосы в этой клети начать, не дожидаясь конца прокатки в ней предыдущей полосы, например совместить последний пропуск предыдущей полосы с первым пропуском следующей полосы. Такое совмещение называется прокаткой с перекрытием. В этом случае узким местом в работе стана будет являться, очевидно, вторая клеть трио 800 *мм*. Ритм прокатки в этом случае может быть принят равным 40 сек, т. е. будет меньше примерно на 18%.

На рис. 256 представлен график работы во времени непрерывного стана 350 *мм*. Так как в этих станах в каждой клети производится только один пропуск и время пропуска во всех клетях одинаково, то ритм прокатки для этих станов равен

$$T = T_м + T_п, \quad (148)$$

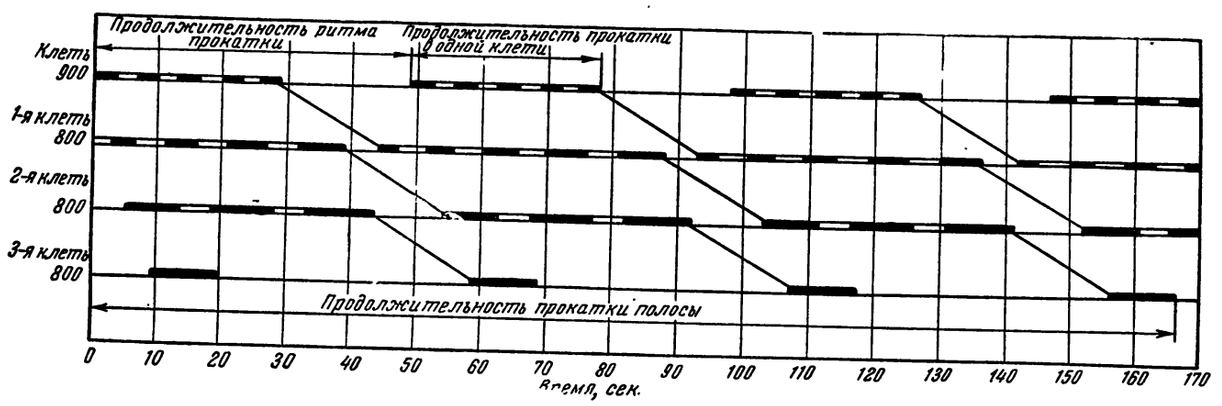



Рис. 255. График работы рельсобалочного стана во времени

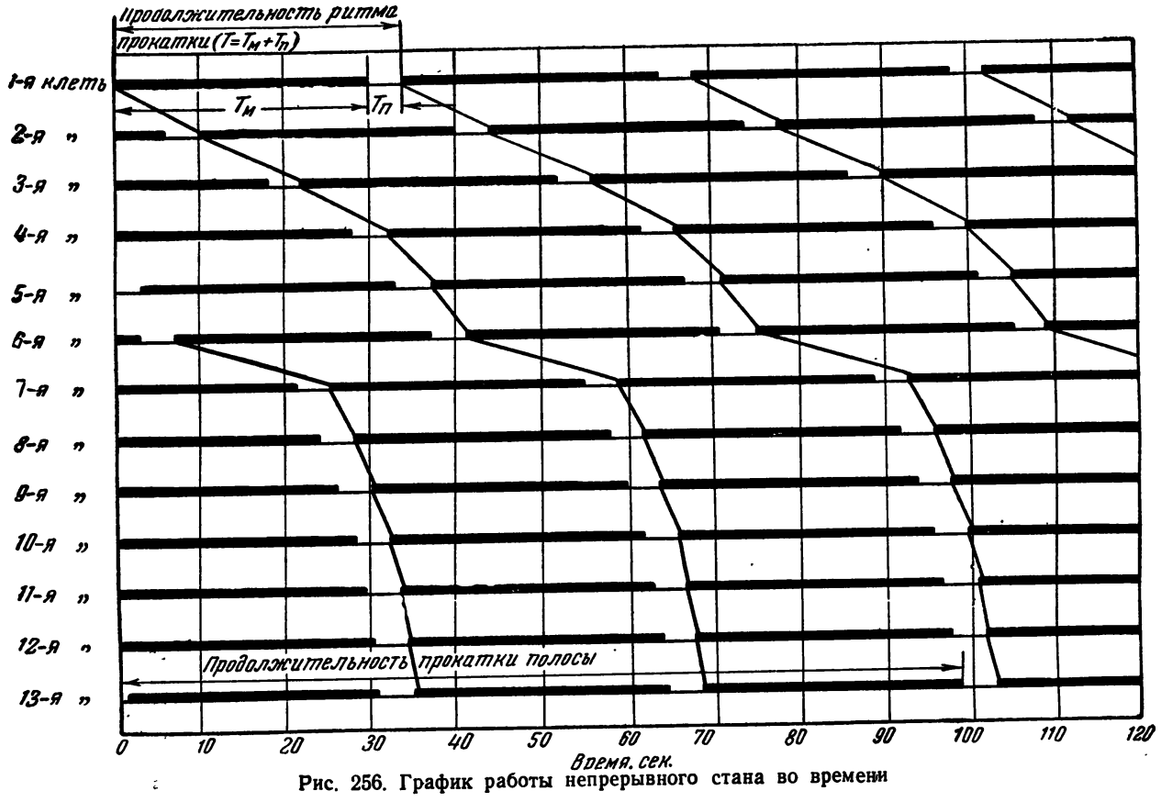



Рис. 256. График работы непрерывного стана во времени

где $T_м$ — время пропуска;
$T_п$ — пауза между концом прокатки предыдущей полосы и началом прокатки следующей в любой клети стана.

Продолжительность прокатки одной полосы в этих станах равна времени одного пропуска плюс время пауз между клетями. Таким образом, одновременное нахождение полосы в нескольких клетях, при наличии в каждой клети только одного пропуска обеспечивают на этих станах наименьший ритм прокатки и наименьшую продолжительность прокатки полосы. Определив ритм прокатки, можно подсчитать технически возможную часовую производительность того или другого прокатного стана, пользуясь формулой (134).

Вводя дополнительно коэффициент использования производительности стана, учитывающий различные случайные задержки, практически возможную часовую производительность можно определить по формуле:

$$A_1 = A \cdot K_и \qquad (149$$

где $A$ — технически возможная часовая производительность стана;
$K_и$ — коэффициент использования производительности стана.

На наших заводах, благодаря социалистической организации производства, коэффициент использования производительности стана находится в пределах 0,85—0,9, причем более высокий коэффициент относится к непрерывным станам.

Очень часто в течение всего года прокатные станы работают по непрерывному графику, при следующем количестве нерабочих дней:

| | |
|---|---|
| Ежегодный капитальный ремонт . . . . . | 4 |
| Планово-предупредительные текущие ремонты по 2 дня в месяц . . . . . | 24 |
| Всего . . . . | 28 дней |

В этом случае число рабочих дней в году равно 365 — 28 = 337.

В случае работы стана по прерывному графику, т. е. с выходными днями, будем иметь количество нерабочих дней:

| | |
|---|---|
| Праздничные дни . . . . . | 6 |
| Еженедельные выходные дни . . . . . | 52 |
| Капитальный ремонт . . . . . | 4 |
| Всего . . . 62 дня | |

Число рабочих дней в году равно 365 — 62 = 303.



Тогда номинальное число часов работы стана в год при непрерывном графике и при продолжительности остановки между сменами, 20 мин. равно

$$337 \cdot 23 \approx 7750 \text{ час.},$$

а при прерывном графике

$$303 \cdot 23 \approx 6970 \text{ час.}$$

Фактическое число часов работы стана в год меньше номинального на величину простоев. Величина этих простоев, учитываемая коэффициентом использования времени $K_в$, зависит от типа стана, организации работы на стане и других причин и колеблется в пределах от 5 до 15% номинального времени работы стана, а коэффициент использования времени — в пределах от 0,85 до 0,95. Так, на станах, у которых часто приходится менять валки, величина простоев больше, у непрерывных станов величина простоев меньше, чем у станов линейного типа, и т. д.

При указанном коэффициенте использования времени фактическое число часов работы стана колеблется в следующих пределах:

при работе по непрерывному графику

$$7750 \cdot (0{,}85 \div 0{,}95) \approx 6560 \div 7360 \text{ час.},$$

при работе по прерывному графику

$$6970 \cdot (0{,}85 \div 0{,}95) \approx 5925 \div 6625 \text{ час.}$$

## *Глава XVIII*

# ГОТОВЫЙ ПРОДУКТ

### 81. Сортамент прокатных изделий

В СССР сортамент почти на все изделия, изготовляемые прокаткой, стандартизован (государственный общесоюзный стандарт — ГОСТ). Кроме размеров изделий и допусков в ГОСТ'ах изложены и технические условия, включающие химический состав стали, механические свойства, состояние наружной поверхности, правила приемки, методы испытаний, маркировку и пр.

Автоматизация и механизация прокатных станов, улучшение качества валков и общее повышение культуры производства позволяют работать с большей точностью прокатки, переходить на более жесткие допуски и, следовательно, выпускать продукт с минимально допустимым весом погонного метра.

Прокатные изделия в зависимости от их формы можно разделить на четыре основные группы: 1) сортовой металл, 2) листовой металл, 3) трубы и 4) специальные виды проката. Размеры

и форма изделий рассматриваются ниже при описании отдельных производств.

## 82. Схемы технологических процессов в прокатных цехах

Основными задачами при производстве того или другого прокатного изделия являются:

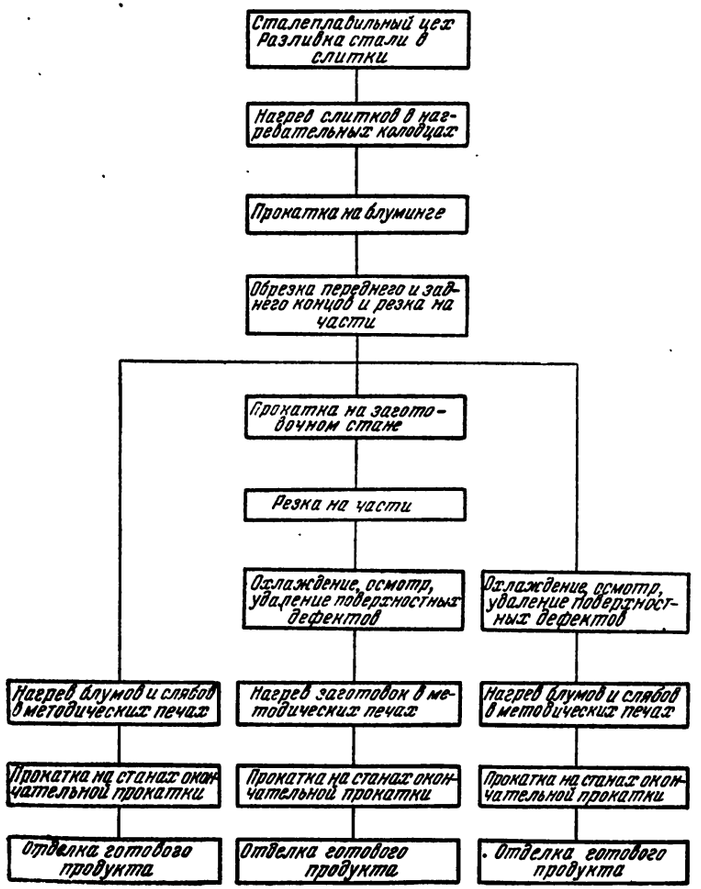



Рис. 257. Схема производства от слитка до готового продукта в современных прокатных цехах

1) получение готового продукта заданных размеров и формы в максимально возможном количестве;



2) получение готового продукта высокого качества, которое характеризуется не только физико-механическими свойствами этого продукта, но и состоянием поверхности.

Эти задачи могут быть выполнены только при точном соблюдении режима всех технологических процессов: 1) подготовки исходного материала к прокатке; 2) нагрева металла перед прокаткой; 3) прокатки; 4) отделки металла после прокатки, включающей резку, охлаждение, правку, удаление поверхностных дефектов и др.

Очень большое значение при этом имеет соблюдение установленных и проверенных режимов нагрева металла перед прокаткой, температуры металла при самой прокатке и условий охлаждения металла после прокатки (неправильный режим охлаждения может повести к получению готового проката с пороками в виде флокенов и трещин или с неудовлетворительными свойствами).

На рис. 257. представлена основная схема производства от слитка до готового продукта в современных прокатных цехах (характерным для этой схемы является горячий всад, слитки поступают в нагревательные колодцы еще горячими). Если блумы и слябы служат для получения готового продукта, то их режут на части, которые отправляют в нагревательные печи или на склад для осмотра и зачистки. Если блумы предназначены для получения заготовки, то после прокатки на специальных заготовочных станах металл отправляют на склад для осмотра и зачистки и лишь в отдельных случаях — в нагревательные печи станов окончательной прокатки.

При производстве легированной и высоколегированной стали, когда к качеству поверхности предъявляются особенно высокие требования, слитки после разливки могут полностью охлаждаться, подвергаться зачистке и вновь поступать на нагрев в холодном виде (перед зачисткой может применяться умягчающая термическая обработка).

## 83. Контроль технологического процесса

Контроль технологического процесса в прокатных цехах складывается из плавочного контроля, контроля отдельных производственных процессов и конечного контроля.

Плавочный контроль производится для ответственных сортов стали. В общем случае этот контроль может включать: определение качества стали при ее выплавке и разливке, химический состав, микро- и макроструктуру слитка, неметаллические включения, механические и другие свойства.

Контроль производственного процесса должен обеспечить правильный режим нагрева металла, необходимую температуру начала и конца прокатки, правильный режим обжатия при прокатке, прокатку данного профиля в пределах допусков, правильную резку и т. д.

В задачу конечного контроля входит установление соответствия качества готового продукта техническим условиям, действующим стандартам и отдельным требованиям, для чего и проводятся различные испытания, предусмотренные техническими условиями.

# *Глава XIX*

# СЛИТКИ И ЗАГОТОВКА

## 84. Слитки

Вес и форма слитков, предназначенных к прокатке, зависят от марки выплавляемой стали, характеристики прокатного стана, в котором они прокатываются, и вида получаемого полупродукта. Так, при прокатке слябов применяются слитки значительно большего веса, чем при прокатке блумов. Наиболее ходовым весом слитков в современных прокатных цехах, оборудованных блумингами и слябингами, при прокатке углеродистой стали являются: от 5 до 8 *т* и более (в особых случаях до 15 *т*) при прокатке сортового и от 5 до 25 *т* и более — при прокатке листового металла. Слитки легированной стали в большинстве случаев отливаются весом не более 5 *т*.

В качестве примера определим вес слитка при прокатке железнодорожных рельсов с весом 1 *пог. м* 50 *кг*.

Принимаем, что нормальная длина рельсов 12,5 *м* и что из одного блума получается четыре рельса такой длины. Вес блума получим, если к чистому весу рельсов прибавим отходы при прокатке на рельсобалочном стане и отделке их. Эти потери можно принять суммарно в 4% от чистого веса рельсов. Тогда вес блума будет равен:

$$50 \cdot 12{,}5 \cdot 4 \cdot 1{,}04 = 2600 \text{ кг}.$$

Если теперь принять потери на бруминге равными 20% от веса слитка и что из каждого слитка прокатываются два блума, то вес слитка при прокатке данных рельсов будет равен:

$$2600 \cdot 2 : 0{,}80 = 6500 \text{ кг}.$$

В качестве другого примера определения веса слитка возьмем случай прокатки толстых листов из слитков. Допустим, что требуется прокатать лист специальной стали размерами: длина — 6000 *мм*, ширина — 4000 *мм* и толщина 60 *мм*.

Вес готового листа:

$$60 \cdot 40 \cdot 0{,}60 \cdot 7{,}85 = 11300 \text{ кг}.$$

Вес слитка при расходе металла в 1,7 *т* на 1 *т* листа будет равен:

$$11\,300 \cdot 1{,}7 = 19\,210 \text{ кг}$$ или округленно 19 *т*.

Слитки кипящей стали отливаются в изложницы, расширяющиеся книзу (рис. 258, *б*). Слитки спокойной стали в большинстве случаев отливаются в изложницы, расширяющиеся кверху, и с прибыльной частью (рис. 258, *а*).

По форме слитки бывают большей частью квадратного или прямоугольного сечения и в некоторых случаях для проката из специальных сталей, а также труб, колес и бандажей — круглого сечения.



Слитки для прокатки сортового металла имеют квадратное и прямоугольное сечения и уклон боковых сторон в 3—5% от размера высоты (на каждую сторону). Вес прибыли у слитков спокойной стали составляет 14—16% от общего веса слитка. Отношение высоты слитка к стороне среднего сечения у кипящей стали от 3 до 3,5, у спокойной — не более 3 (если принять за высоту часть слитка без прибыли).

Слитки при прокатке листового металла имеют обычно прямоугольное сечение с отношением сторон (толщины к ширине) от 1 : 2,5 до 1 : 3. Отношение толщины слитка к его длине принимается равным от 1 : 3,5 до 1 : 4. Длинные стороны сечения делаются выпуклыми для большей гибкости их и сопротивляемости трещинам. Еще лучше делать их с той же целью волнистыми.

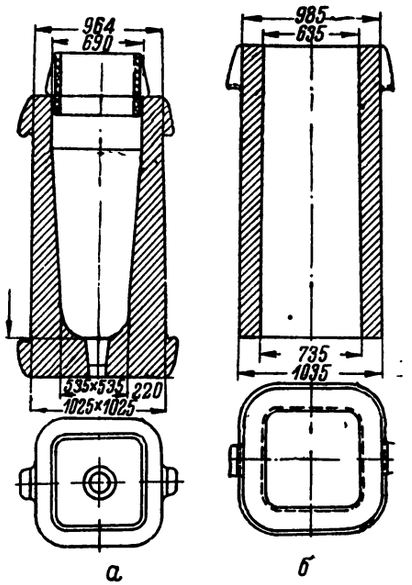


Рис. 258. Форма изложниц

## 85. Заготовка

Заготовка является полупродуктом прокатного цеха, служащим исходным материалом для прокатки различных прокатных изделий на станах окончательной прокатки.

Различают следующие виды полупродукта.

1. Заготовка квадратного или близкого к нему сечения крупных размеров, прокатываемая на заготовочных станах блумингах, называется блумом. Наибольшее сечение блумов, обычно, не более 350 × 350 *мм*.

В основном эти блумы идут на крупносортные станы для прокатки крупных профилей сортовой стали и на другие заготовочные станы для прокатки заготовки более мелких размеров. Поэтому весь необходимый сортамент блумов определяется потребностями этих станов.

В отдельных случаях блумы имеют другую форму, например фасонную — для прокатки крупных балок и швеллеров или круглую — для производства колес и бесшовных труб.

2. Заготовка прямоугольного сечения толщиной примерно от

50 до 300 *мм* и шириной от 500 до 1600 *мм* называется слябом и прокатывается как на слябингах, так и на блумингах.

Слябы поступают на листовые и универсальные станы для прокатки листовой и широкополосной стали.

3. Заготовка квадратного или близкого к нему сечения размерами обычно ниже 150 × 150 *мм*, прокатывается на заготовочных станах различного типа.

В основном эта заготовка идет на сортовые и проволочные станы для прокатки сортовой стали и проволоки.

Минимальный размер заготовок, применяемых в настоящее время в прокатных цехах наших заводов, равен 50 × 50 *мм*.

К последнему виду полупродукта относится также листовая заготовка или сутунка размерами: по толщине от 6 до 15 *мм*, по ширине от 150 до 400 *мм*, идущая для прокатки тонколистовой стали на станах дуо старого типа.

### 86. Подготовка слитков и заготовки к прокатке

На большей части заводов применяется горячий всад слитков в нагревательные колодцы, причем удаление поверхностных дефектов производится на заготовках (однако не исключена возможность удаления поверхностных дефектов и с горячих слитков).

При производстве легированной и высоколегированной стали слитки иногда полностью охлаждаются и поступают для нагрева в холодном виде, в этом случае удаление поверхностных дефектов производится часто как на слитках, так и на заготовке.

К числу удаляемых поверхностных дефектов полупродукта относятся: плены, волосовины, трещины, неметаллические включения, царапины от проводок и др. Все эти дефекты выявляются путем осмотра. С этой целью иногда поверхность заготовок подвергают травлению для выявления дефектов, которые простым осмотром обнаружить невозможно, так как они бывают закрыты окалиной.

Большим распространением пользуется еще до сих пор малопроизводительная и вредная для рабочих вырубка дефектов пневматическими зубилами.

При вырубке дефектов должно выдерживаться правильное соотношение между шириной и глубиной канавки, причем края канавки должны быть сглажены, чтобы при последующей прокатке они не послужили причиной образования трещин и других, вызываемых ими дефектов на поверхности проката.

Для зачистки главным образом твердой легированной стали применяются наждачные станки (эта сталь с трудом или совсем не поддается вырубке пневматическими зубилами), стоимость этого способа еще значительно выше, чем предыдущего.



В последние годы все большее распространение находит новейший метод удаления поверхностных дефектов — огневая зачистка, процесс которой сводится к выжиганию металла при помощи кислородно-ацетиленового пламени резаком.

Резак подводят к началу места дефекта и в течение нескольких секунд производят подогрев металла до достаточно высокой температуры, после чего пускают струю кислорода, окисляющую предварительно нагретый металл, и сдувающую расплавленный слой.

В настоящее время огневой зачистке подвергаются почти все сорта стали.

На горячих блумах и слябах огневая зачистка производится автоматически машинами, установленными на линии рольганга между станом и ножницами. При ручной огневой зачистке производительность в 10—15 раз больше, чем при зачистке пневматическими зубилами.

## *Глава XX*

## ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОДУКТА

### 87. Технологический процесс прокатки полупродукта

Обычно до 90% слитков поступают в нагревательные колодцы блумингов и слябингов непосредственно в горячем виде и только около 10% холодными. Применение горячего всада дает значительную экономию в расходе топлива и увеличивает пропускную способность нагревательных колодцев.

На рис. 259 представлен разрез ячейки нагревательных колодцев регенеративного типа. Для обслуживания блуминга нормального типа с диаметром валков 1100—1150 *мм* обычно устанавливается 8—10 групп колодцев, состоящих из четырех ячеек в каждой группе, вмещающих по 6—8 слитков.

Каждая ячейка колодца представляет собой самостоятельную нагревательную печь, имеющую собственные регенераторы для подогрева газа и воздуха. Колодцы отапливаются доменным или смесью коксового и доменного газов.

На рис. 260 представлен разрез ячейки нагревательных колодцев рекуперативного типа с центральной горелкой, построенных в последние годы на наших новых заводах. В этих колодцах подогревается воздух и газ. Каждая группа таких колодцев состоит из двух ячеек, вмещающих по 12—16 слитков.

Нагревательные колодцы, как правило, располагаются в специальном здании, примыкающем к основному зданию блуминга или слябинга. Это здание состоит из двух пролетов, в одном из которых расположены собственно колодцы, в другом — перекид-

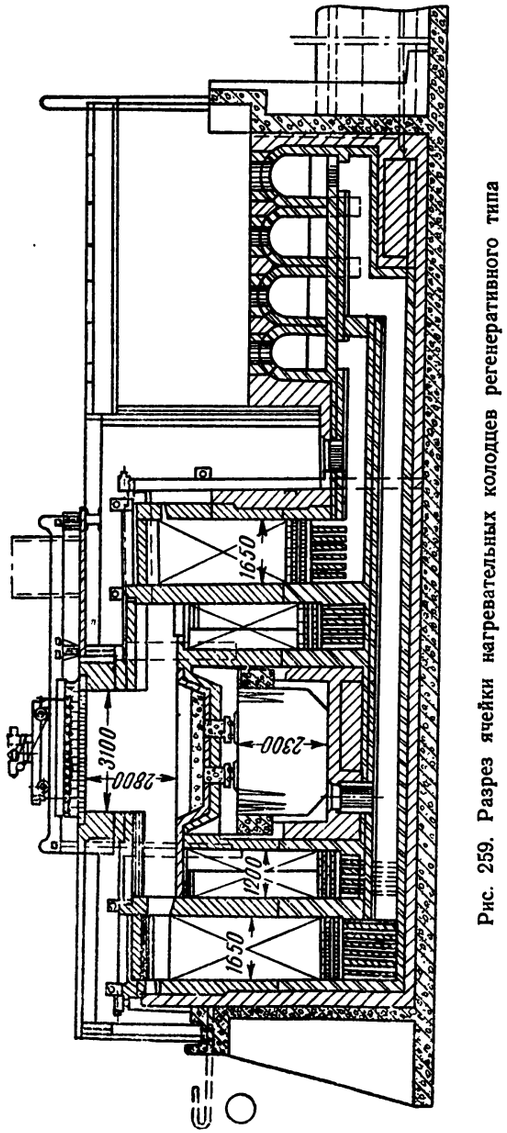



Рис. 259. Разрез ячейки нагревательных колодцев регенеративного типа



ные устройства для газа и воздуха, а также площадка управления колодцами.

Посадка слитков в колодцы производится в вертикальном положении специальными клещевыми кранами. Режим нагрева слитков зависит от веса слитка, температуры слитка при посадке и химического состава стали.

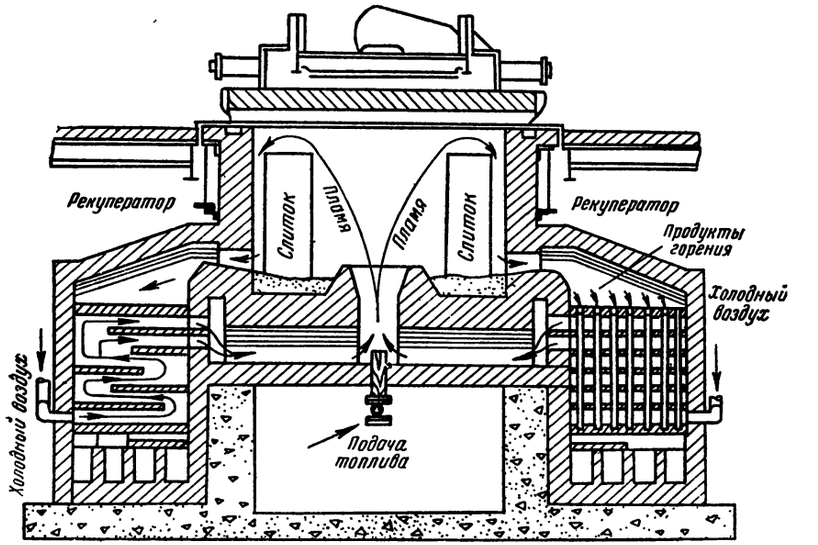



Рис. 260. Разрез ячейки нагревательных колодцев рекуперативного типа

Слитки, нагретые до температуры прокатки, выдаются из колодцев краном на тележку-опрокидыватель (рис. 206), которая подвозит их к подводящему рольгангу блуминга или слябинга и опрокидывает на ролики последнего. По рольгангу слиток подается к рабочей клети стана. На рис. 261 показан общий вид блуминга 1000 *мм*.

В случае установки за блумингом непрерывнозаготовочного стана для прокатки мелкой заготовки блуминг выпускает большей частью блумы сечением от 250 × 250 до 300 × 300 *мм*. Дальнейшая прокатка блумов в заготовку различного мелкого сечения производится на непрерывнозаготовочном стане. Блуминг прокатывает также блумы других сечений размерами от 200 × 200 до 300 × 300 *мм* и выше, которые, минуя непрерывно заготовочный стан, поступают на более крупные станы окончательной прокатки или для других целей.

Прокатанная полоса поступает по рольгангу к ножницам, где производится обрезка концов, а если требуется, и резка полосы на части.

Размер отрезаемых концов различен и зависит от формы и размера слитка, способа разливки, марки стали, сечения прокатываемых блумов и слябов и т. п. Так, при прокатке блумов из кипящей стали отрезается 5—6% от веса слитка, а из спокойной стали до 18%. При прокатке слябов из кипящей стали величина отрезаемых концов составляет 8—12%, а из спокойной стали — до 20% от веса слитка, так как в этом случае отрезается прибыльная часть слитка.

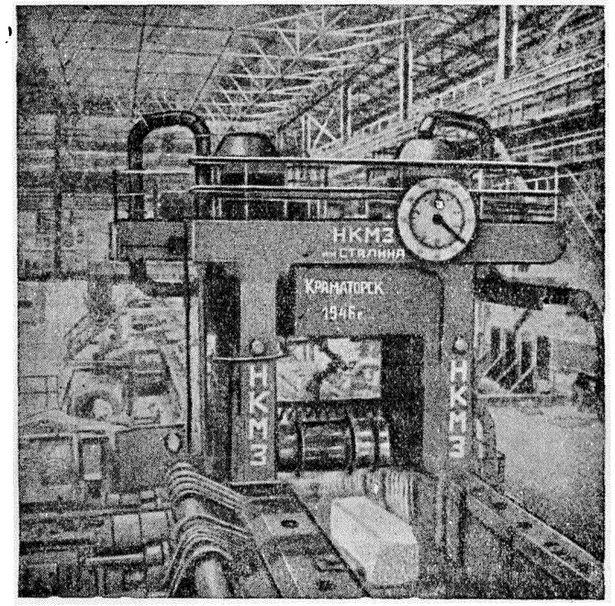



Рис. 261. Рабочая клеть блуминга 1000 *мм*

Полоса, отрезанная на ножницах, поступает или непосредственно на непрерывнозаготовочный стан для прокатки более мелкой заготовки или на склад заготовки станов окончательной прокатки (если требуется замедленное охлаждение, то металл загружается в неотапливаемые колодцы и специальные печи; после схлаждения он подвергается зачистке).

## 88. Станы для прокатки крупной заготовки — блумов и слябов

На рис. 262 представлен план расположения оборудования современного одноклетьевого дуо-реверсивного блуминга. Оборудование блуминга расположено в трех параллельных пролетах. Первый пролет представляет изолированное помещение — машин-

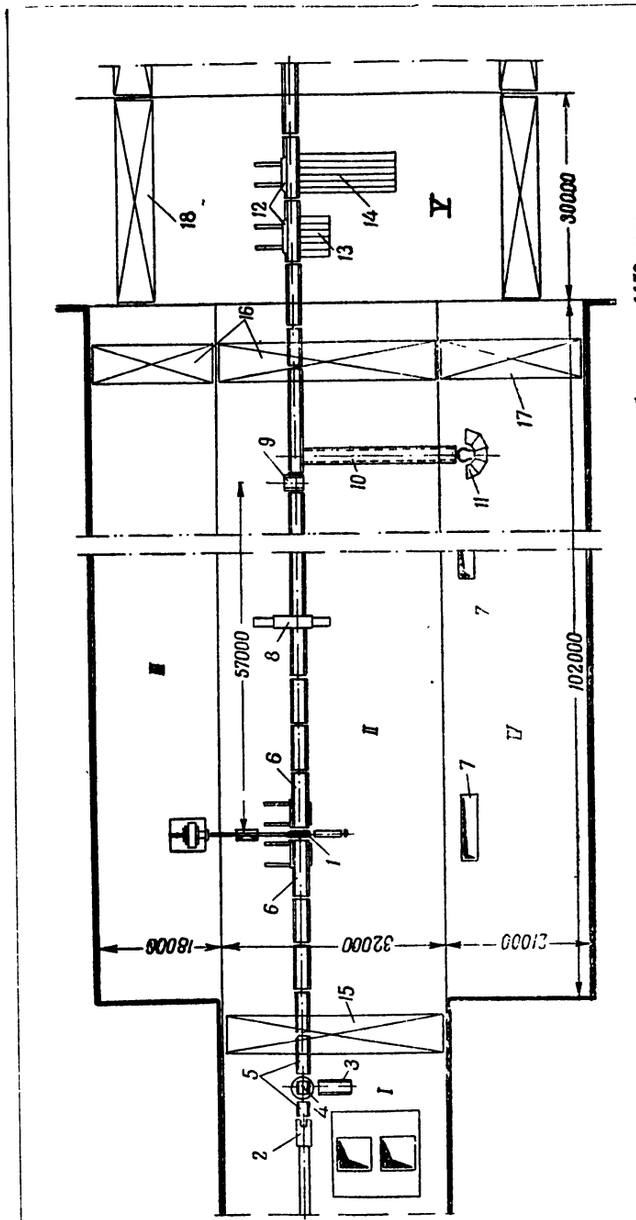



Рис. 262. Схема расположения оборудования одноклетьевого блуминга 1150 *мм*:

*I* — пролет нагревательных колодцев; *II* — пролет стана; *III* — машинный зал; *IV* — скрапной пролет; *V* — склад блумов и слябов *1* — рабочая клеть; *2* — тележка-опрокидыватель; *3* — стационарный опрокидыватель; *4* — поворотный стол; *5* — приемный рольганг; *6* — рабочий рольганг; *7* — яма для выгрузки окалины; *8* — машина огневой чистки; *9* — ножницы 1600 *т*; *10* — транспортер обрезков; *11* — яма для обрезков; *12* — сталкиватели блумов и слябов; *13* — укладыватель слябов; *14* — холодильник для блумов; *15*, *16*, *17* и *18* — мостовые краны

ный зал, в котором установлено электрооборудование стана: электродвигатель стана, преобразователь, возбудители, щиты управления и пр. Во втором пролете помещаются все механизмы стана, а третий, называемый скрапным пролетом, предназначен для уборки окалины из-под стана и обрезков от ножниц.

Наибольшее распространение в качестве привода для таких блумингов получил двигатель постоянного тока мощностью 7000 *л. с.* с числом оборотов 0—50—120 в минуту; максимальный момент мотора при 50 об/мин 300 *тм.* Максимальное число оборотов 120 применяется только при значительной длине прокатываемой полосы.

С передней и задней сторон стан оборудован рольгангами для подачи слитков к рабочим валкам, для перемещения прокатываемой полосы взад и вперед во время прокатки, для транспортирования прокатанной полосы к ножницам и частей порезанной полосы от ножниц на склад. Перемещение полосы по рольгангу от калибра к калибру рабочей клети с обеих сторон производится манипуляторами. Для кантовки слитков с передней стороны стана на одной из линеек установлен крюковой кантователь.

На расстоянии 40—60 *м* от оси стана расположены электрические ножницы с подвижными верхним и нижним ножами; резание происходит снизу вверх.

Давление, развиваемое ножницами, зависит от сечения металла, разрезаемого на них, и колеблется в пределах от 900 до 1600 *т*.

Для уборки обрезков за ножницами установлен конвейер, представляющий собой бесконечную ленту, при помощи которого обрезки подаются в скрапной пролет здания, где сбрасываются в установленные у конвейера коробки или прямо на железнодорожную платформу.

Производительность таких блумингов достигает 2,5 *млн. т* и более слитков в год.

Наряду с повышением производительности блумингов за счет факторов, описанных ранее, производительность их может быть повышена включением в состав блуминга нескольких клетей, т. е. за счет дифференциации производственного процесса.

К числу таких блумингов относятся:

1) станы, состоящие из двух реверсивных клетей;

2) станы, состоящие из нескольких нереверсивных клетей дуо и трио [16];

3) непрерывные станы.

При современном производстве листов на крупных металлургических заводах процесс прокатки разбивается на две стадии:

1) прокатку из слитков листовой заготовки — слябов;

2) прокатку из слябов листов.



Такое разделение имеет ряд преимуществ по сравнению с прокаткой листов непосредственно из слитков, на старых металлургических заводах:

1. Увеличивается производительность листопрокатных станов за счет употребления заготовки сравнительно малой толщины и благодаря тому, что головная и донная части слитка отрезаются после прокатки на обжимном стане.

2. Улучшается качество готовых листов в связи с тем, что слиток на обжимном стане получает обжатие со всех сторон и слябы могут быть осмотрены и имеющиеся на них пороки удалены.

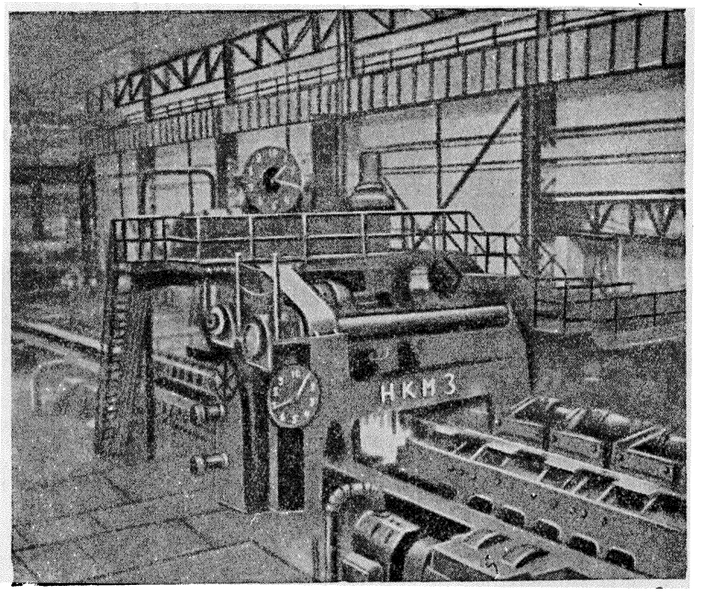



Рис. 263. Слябинг завода Запорожсталь

Прокатка из слитков слябов — осуществляется или на блумингах, или на обжимных станах, приспособленных специально для прокатки плоской заготовки — слябингах. На рис. 263 показан слябинг завода Запорожсталь.

Основное преимущество слябинга сравнительно с блумингом заключается в том, что кроме горизонтальных валков он имеет обычно еще пару вертикальных валков, благодаря которым производится боковое обжатие листовых слитков без кантовки. Однако из-за высокой стоимости и узкой специализации слябинг является менее распространенным обжимным станом, чем блуминг, он находит применение для получения очень тяжелых и широких слябов в большом количестве (прокатка широких слябов на блу-

минге вызывает затруднения при ребровых пропусках, при отсутствии же ребровых пропусков и боковых обжатий качество кромок сляба получается неудовлетворительным).

Производительность блуминга при прокатке слябов меньше производительности слябинга (прокатка на ребро на блуминге вызывает потерю времени на подъем и опускание верхнего валка и кантовку слитков); кроме ограничения в ширине, слябы с блуминга ограничены также и по весу, так как блуминг рассчитывается в основном на работу со слитками до 8 *т*.

В основном слябы идут в качестве полупродукта для листовых универсальных и широкополосных станов. Слябинг выпускает слябы размерами: толщина от 50 до 300 *мм*, ширина от 500 до 1600 *мм*, длина от 1000 *мм* и выше, вес от 250 *кг* и выше.

Развес слитков для прокатки вышеуказанных размеров слябов колеблется от 5 до 25 *т*, наиболее ходовой развес слитков 8—12 *т*.

На рис. 264 представлен план расположения оборудования слябинга. Диаметр горизонтальных валков этого слябинга 1150 *мм*, длина бочки валков 2000 *мм*. Диаметр вертикальных валков 680 *мм* длина бочки 1200 *мм*. Для этого слябинга характерен привод каждого горизонтального валка от отдельного двигателя мощностью 5000 *л. с.* и 0—100 об/мин.

В последнее время индивидуальный привод валков находит применение также для блумингов крупного размера. Преимущества индивидуального привода валков: а) отсутствие шестеренной клети и связанных с этим потерь энергии и эксплуатационных расходов; б) более плавная работа шпинделей вследствие отсутствия ударов зубьев шестеренной клети; в) более простая конструкция самих электродвигателей. К числу недостатков надо отнести лишь большую стоимость электрооборудования и необходимость точного электрического регулирования числа оборотов, общего для обоих валков.

Для привода вертикальных валков установлен один двигатель мощностью 2500 *л. с.* с числом оборотов 0—250 в минуту.

При прокатке слитков на слябинге вертикальные валки начинают давать значительные обжатия только после некоторых пропусков слитка в горизонтальных валках. Количество пропусков находится в зависимости от веса слитка и от толщины получаемого сляба.

При благоприятном соотношении количества слябов различных размеров в программе производительность слябинга может доходить до 350 *т*, а при прокатке крупных слябов — до 500 *т* в час.

## 89. Заготовочные станы для производства мелкой заготовки

Различают два основных типа заготовочных станов: 1) непрерывнозаготовочные и 2) линейного типа. Эти станы обычно располагаются в непосредственной близости от блумингов, и, следовательно, входят в состав заготовочного отделения прокатного цеха. Такое расположение станов дает возможность вести про-

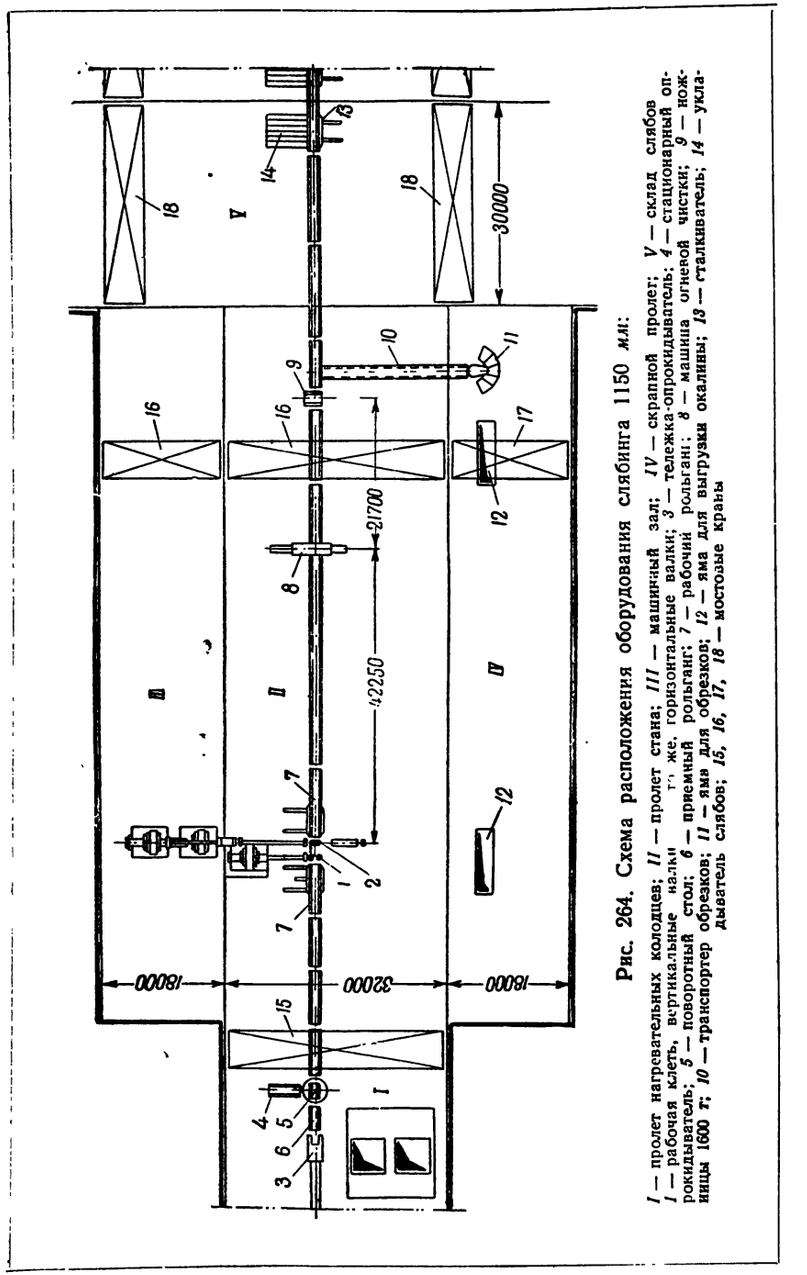



Рис. 264. Схема расположения оборудования слябинга 1150 *мм*:

*I* — пролет нагревательных колодцев; *II* — пролет стана; *III* — машинный зал; *IV* — скрапной пролет; *V* — склад слябов *1* — рабочая клеть, вертикальные валки; *2* — то же, горизонтальные валки; *3* — тележка-опрокидыватель; *4* — стационарный опрокидыватель; *5* — поворотный стол; *6* — приемный рольганг; *7* — рабочий рольганг; *8* — машина огневой чистки; *9* — ножницы 1600 *т*; *10* — транспортер обрезков; *11* — яма для обрезков; *12* — яма для выгрузки окалины; *13* — сталкиватель; *14* — укладыватель слябов; *15, 16, 17, 18* — мостовые краны

катку заготовок из слитка с одного нагрева, что экономически выгодно.

В отдельных случаях на старых металлургических заводах или заводах, производящих высоколегированную сталь, заготовочные станы линейного типа прокатывают заготовку непосредственно из мелких слитков.

Непрерывнозаготовочные станы. Наиболее распространенной схемой непрерывнозаготовочного стана является стан, состоящий из двух групп по шесть клетей в каждой (рис. 265).

Прежде обжатие на блуминге, как правило, велось до сечения 200 × 200 *мм*, а дальнейшее уменьшение поперечного сечения производилось на непрерывнозаготовочном стане. В этом случае первая группа стана имеет валки диаметром 630 *мм* и длиной бочки 1200—1400 *мм*, а вторая группа — диаметром 450 *мм* и длиной бочки 550—850 *мм*.

В настоящее время широкое распространение, особенно в СССР, получил размер блума 250 × 250 *мм* и выше при наименьших размерах конечной заготовки 55×55 *мм* (вместо 40×40 *мм*). Соответственно валки первой группы непрерывнозаготовочного стана имеют диаметр 720—800 *мм* и длину бочки 1500 *мм*, а второй группы — диаметр 530 *мм* и длину бочки 1000 *мм*. Обычно скорость прокатки для последней клети первой группы находится в пределах 1,2—2 *м/сек*. При таких скоростях производительность стана опережает производительность блуминга, поэтому повышения скорости не требуется.

В последней клети второй группы скорость прокатки лимитируется скоростью резки на летучих ножницах и в настоящее время не превышает 5,0 *м/сек*.

Расстояние от оси последней клети первой группы до оси первой клети второй группы около 80 *м*. Это расстояние определяется наибольшей длиной полосы, выходящей из первой группы.

Для прокатки заготовки сечением 50 × 50 *мм* из блума сечением 200 × × 200 *мм* требуется 12 клетей, для прокатки же заготовки сечением 100 × × 100 *мм* нужно всего 6 клетей. Разделение стана на две самостоятельные группы позволяет обеспечивать заготовкой крупного сечения 100 × 100 *мм* другие сортовые станы, минуя вторую группу. Вышедшая из первой группы заготовка поступает во вторую группу только в том случае, если требуется заготовка сечением меньше 100 × 100 *мм*.

Чтобы полосу, вышедшую из первой группы, можно было выдать на сторону, расстояние от оси последней клети первой группы до оси первой клети второй группы устанавливается таким, чтобы на рольганге между этими группами вмещалась самая длинная полоса, выходящая из первой группы.

Для подачи полосы от первой группы на сторону имеются шлепперы, которые передают ее на обводный рольганг, транспортирующий полосу к ножницам. Разрезанные полосы поступают

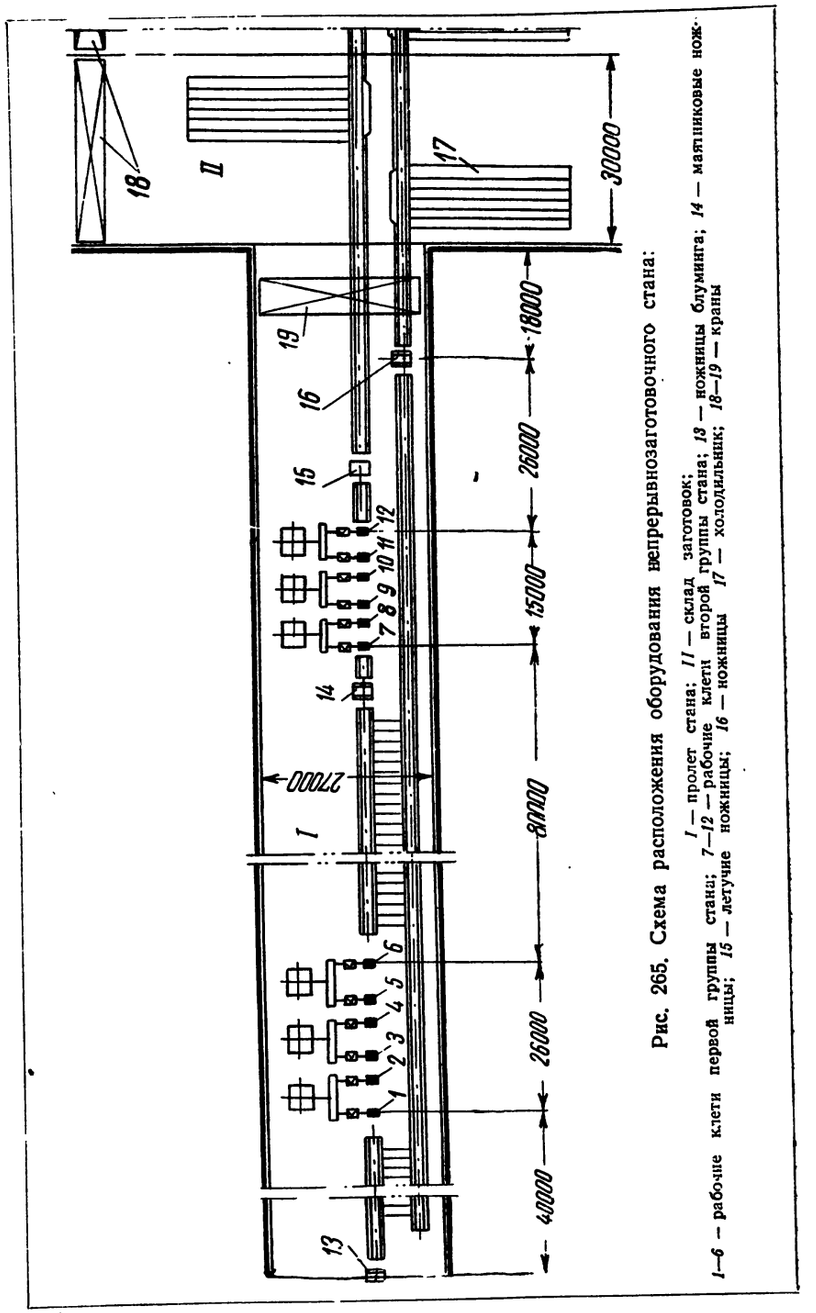



Рис. 265. Схема расположения оборудования непрерывнозаготовочного стана:

*1* — пролет стана; *11* — склад заготовок; *1—6* — рабочие клети первой группы стана; *7—12* — рабочие клети второй группы стана; *13* — ножницы блуминга; *14* — маятниковые ножницы; *15* — летучие ножницы; *16* — ножницы *17* — холодильник; *18—19* — краны

по рольгангу за ножницами в склад заготовки на охладительные стеллажи, в конце которых имеются пакетировочные карманы.

Для разрезки весьма длинной полосы, выходящей из второй группы на мерные заготовки, имеются летучие ножницы, позволяющие производить резку на ходу (см. рис. 180).

Изобретение этих ножниц устранило какие бы то ни было ограничения веса слитка, сыграло большую роль в увеличении производительности прокатных станов и дало возможность комбинировать блуминг с непрерывнозаготовочным станом.

Разрезанная заготовка собирается сзади ножниц при помощи рольганга с косо поставленными роликами и затем сдвигается отдельными партиями на приемные рольганги охладительных стеллажей. В конце этих стеллажей имеются сборочные карманы, откуда заготовка забирается мостовыми кранами и складывается в штабели.

Чтобы полностью использовать непрерывные станы, обладающие большой производительностью, прокатывают на одном и том же стане и сутунку и заготовку. При такой установке в первой группе применяют общие черновые калибры для сутунки и заготовки с почти одинаковым обжатием. Окончательная прокатка производится при этом во второй группе, которая имеет различные валки для прокатки сутунки и заготовки. Прокатка сутунки в этой группе производится на гладких валках. Для регулирования же ширины полос и обработки боковых кромок между клетями с горизонтальными валками дополнительно устанавливаются несколько клетей с вертикальными валками.

Возможность на непрерывнозаготовочных станах прокатывать сутунку с уменьшенной толщиной помимо удешевления производства упростила окончательную прокатку ее на тонколистовых станах; при этом производительность последних увеличилась и соответственно снизилась себестоимость в этом звене прокатки.

Значительные усовершенствования в непрерывнозаготовочных станах сделаны в последнее время с целью предупреждения поверхностных дефектов заготовок — трещин и царапин, получающихся при использовании геликоидальных проводок. К числу этих усовершенствований необходимо отнести: 1) применение кантующих проводок роликового типа; 2) наклонное (диагональное) расположение калибров в валках, при котором значительно уменьшается угол скручивания заготовки, а следовательно, и возможность образования трещин по этой причине; 3) чередование клетей с горизонтальными и вертикальными валками (в этом случае полоса обжимается поочередно в вертикальном и горизонтальном направлениях без кантовки).

Заготовочные станы линейного типа обычно состоят из двух-трех клетей, расположенных в одну линию. Часто эти станы, характерные для старых заводов, служат как для производства заготовки и сутунки, так и для прокатки различных профилей крупного сортового металла. В этом случае стан в основном не отличается от крупносортного стана, рабочие клети которого также расположены в одну линию.



В качестве примера стана такого типа можно привести заготовочный стан, изображенный на рис. 266. Диаметр валков 750 *мм*, длина бочки валков 2100 *мм*. Число оборотов валков 40—55 в минуту. Приводом для стана служит двигатель переменного тока мощностью 2000 *л. с.* с числом оборотов 200—290 в минуту. Передача вращения от мотора к стану осуществляется через одноступенчатый редуктор; на валу малой шестерни насажен маховик весом 14 *т*.

Первая клеть трио стана оборудована с передней стороны подъемно-качающимся столом, а с задней стороны подъемно-параллельным столом (см. рис. 201). Вторая клеть трио оборудована подъемно-качающимся столом с задней стороны, с передней же стороны у нее имеется только рольганг. Кроме того, стан оборудован шлепперами с передней и задней стороны рабочих клетей для передачи полосы от одной клети к другой, транспортными рольгангами, ножницами, сталкивателями и другими механизмами, обслуживающими отдельные операции технологического процесса.

Исходным материалом для этого стана служат слитки весом около 800—850 *кг*. Для нагрева слитков имеются методические печи с торцевой выдачей, работающие на газе. Готовым продуктом стана является полупродукт в виде заготовки сечением от 50 × 50 до 140 × 140 *мм*. Производительность стана около 250 000 *т* заготовки в год.

## 90. Технико-экономические показатели производства полупродукта

К потерям металла при прокатке обычно относятся: 1) угар металла при нагреве и прокатке; 2) обрезка концов, включая потери при зачистке и иногда при травлении; 3) брак и недокат.

Эти потери и выход годного на блумингах и слябингах обычно считают в процентах от веса слитка. Зная выход годного, расход металла на единицу годного можно получить путем деления заданного (100%) на выход годного. В табл. 13 приведены средние данные о потерях, выхода годного и расхода металла при прокатке на блуминге [9].

Выход годного на непрерывнозаготовочных станах составляет в среднем 97% для первой группы и 98% для второй группы; расход блумов на тонну годной заготовки составит 100 : 97,0=1,03 *т* для первой группы и 100 : 98=1,02 *т* для второй группы.

Пусть при весе слитка $G$ последовательные операции сопровождаются понижением этого веса до $G_1$, $G_2$ и т. д.

Тогда последовательные расходные коэффициенты составят:

$$k_1 = \frac{G_c}{G_1}; \quad k_2 = \frac{G_1}{G_2} \text{ и т. д.}$$

Отсюда

$$G_c = k_1 G_1; \quad G_1 = k_2 G_2$$

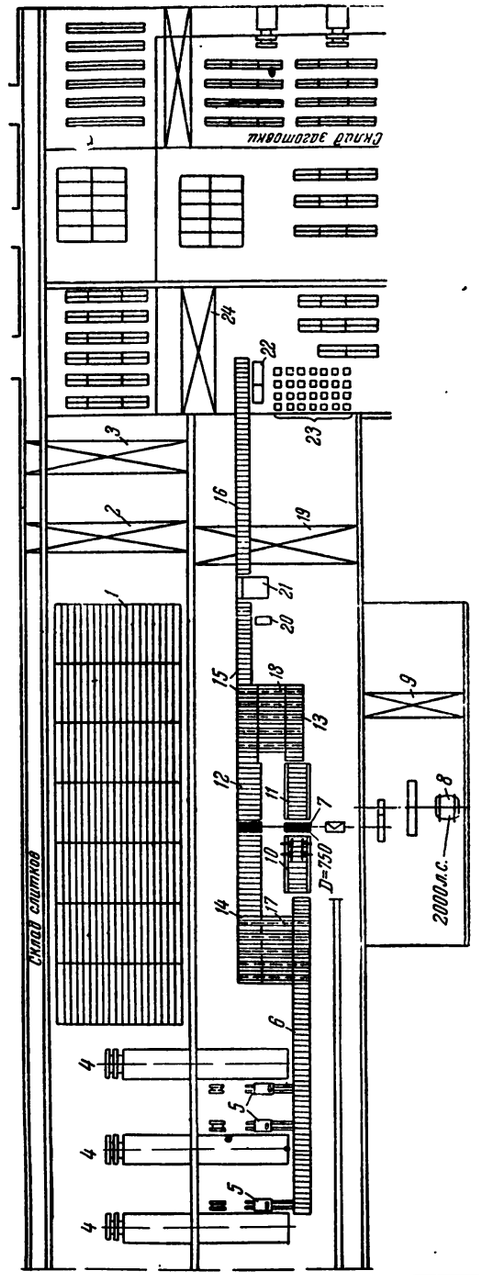



Рис. 266. Схема расположения оборудования заготовочного стана линейного типа:

*1* — склад слитков; *2—3* — мостовые краны; *4* — нагревательные печи; *5* — тележки для передачи слитков; *6* — подводящий рольганг; *7* — заготовочный стан трио; *8* — электродвигатель 2000 *л. с.*; *9* — мостовой стан; *10—12* — подъемно-качающиеся столы; *11* — подъемно-параллельный стол; *13—16* — рольганги; *17* и *18* — шлеперы; *19* — мостовой кран; *20* — маятниковая пила; *21* — ножницы; *22* — сталкиватель; *23* — охладительные ямы; *24* — мостовой кран



*Таблица 13*

**Потери, выход годного и расход металла при прокатке на блуминге**

| Показатели | Блумы | | Слябы | |
|---|---|---|---|---|
| | кипящая сталь | спокойная сталь | кипящая сталь | спокойная сталь |
| Угар (%) . . . . . | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Концы (%) . . . . . | 5,0 | 17,0 | 8,0—11,0 | 17,0 |
| Брак и недокат (%) . . | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Всего потерь (%) . . | 8,0 | 20,0 | 11,0—14,0 | 20,0 |
| Выход годного (%) . . . | 92,0 | 80,0 | 89,0—86,0 | 80,0 |
| Расход металла на единицу годного . . . . | 1,087 | 1,25 | 1,123—1,163 | 1,25 |

и т. д., что дает:

$$G_c = k_1 \cdot k_3 \ldots . k_n G_n,$$

откуда получаем общий (суммарный) или, как говорят, сквозной расходный коэффициент:

$$k = \frac{G_c}{G_n} = k_1 k_2 \ldots . k_n. \qquad (150)$$

Таким образом, расход слитков на тонну годной заготовки можно получить умножением расходных коэффициентов на блуминге и непрерывнозаготовочном стане.

Так, в случае прокатки заготовки из блумов кипящей стали расход слитков на тонну заготовки для первой группы непрерывнозаготовочного стана составит:

а) для кипящей стали

$$1,087 \cdot 1,03 = 1,12\ m;$$

б) для спокойной стали

$$1,25 \cdot 1,03 = 1,29\ m.$$

Для второй группы эти коэффициенты составят:

а) для кипящей стали

$$1,087 \cdot 1,02 = 1,11\ m,$$

б) для спокойной стали

$$1,25 \cdot 1,02 = 1,275\ m.$$

Расход энергии на блуминге, в зависимости от сечения блумов и слябов, составляет 15—20 *квт-ч* на 1 *т* слитков. Расход энер-

гии на первой группе непрерывнозаготовочного стана составляет 10—11 *квт-ч* на 1 *т* годного проката, а для второй группы — 8,5—9,0 *квт-ч* на 1 *т* годного проката.

## *Глава XXI*

# ПРОИЗВОДСТВО РЕЛЬСОВ И БАЛОК

### 91. Сортамент и технологический процесс прокатки рельсов и балок

Готовым продуктом рельсобалочных станов отечественных заводов являются:

| | |
|---|---|
| Рельсы железнодорожные | 38, 43, 50 и 65 *кг/пог.м* |
| Балки высотой | 180 — 600 *мм* |
| Швеллеры высотой | 180 — 400 *мм* |
| Трамвайные рельсы высотой | 100 — 210 *мм* |
| Шпунты (сваи) | |
| Угловая сталь | 140 × 140 — 230×230 *мм* |
| Круглая и квадратная сталь | 100—225 *мм* |

При этом основным продуктом являются рельсы и балки.

Рельсы железнодорожные прокатывают главным образом из мартеновской стали. Из бессемеровской стали прокатывают лишь небольшую часть рельсов (весом 1 *пог. м* 38 *кг*). Химический состав рельсовой стали приведен в табл. 14.

*Таблица 14*

**Химический состав рельсовой стали**

| Марка стали | Содержание элементов, % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | углерод | марганец | кремний | фосфор | сера |
| | | | | не более | |
| М70 | 0,63—0,78 | 0,65—1,0 | 0,13—0,28 | 0,045 | 0,05 |
| М62 | 0,55—0,70 | 0,60—0,90 | 0,13—0,28 | 0,05 | 0,05 |
| НБ62 | 0,50—0,73 | 0,60—1,0 | 0,15—0,30 | 0,075 | 0,06 |

В СССР стандартная длина рельсов 12,5 *м*. Длина балок и швеллеров — до 19 *м*.

Рельсы, балки и швеллеры занимают 12—15% общего производства проката.

В последнее время все больше и больше расширяется производство широкополочных балок с параллельными полками, с наибольшей высотой 1000 *мм* и балок с тонкими стенками, с наибольшей высотой 300 *мм*.



Существует два метода работы рельсобалочных станов. На станах старого типа обычно отсутствует промежуточный нагрев и прокатка слитка на блюминге и рельсов на рельсобалочном стане ведется в один нагрев.

На новых станах применяется вторичный подогрев блумов в печах, установленных между блумингом и рельсобалочным станом, способствующий выгоранию поверхностных мелких плен, позволяющий получать требуемую температуру конца прокатки, что улучшает механические свойства рельсов и увеличивает выход годного, а также обусловливающий понижение расхода энергии при прокатке на рельсобалочном стане и обеспечивающий независимую друг от друга работу блюминга и рельсобалочного стана (при остановке рельсобалочного стана блюминг продолжает работать, отправляя блумы на склад, и, наоборот, при остановке блюминга рельсобалочный стан имеет возможность вести прокатку из блумов, имеющихся на складе).

Ниже будет рассмотрен главным образом более новый второй метод производства рельсов.

Слитки рельсовой стали весом 6—7 *т* прокатываются на блюминге в блумы, большей частью, сечением от 250 × 250 до 300 × ×300 *мм*. После обрезки концов и разрезки на 2—3 части, блумы передаются по рольгангу к нагревательным, большей частью методическим трехзонным рекуперативным печам.

Прокатанные полосы поступают к салазковым пилам (см. рис. 199), устанавливаемым механически на требуемом расстоянии, после разрезки проходят через роликовую загибочную машину, получая изгиб в сторону подошвы (для компенсации обратного изгиба при остывании).

Охлажденные на холодильниках до температуры не ниже 600° рельсы загружаются в колодцы, где медленно охлаждаются до 100—150° в продолжение 7—8 час. (для предотвращения образования флокенов, что достигается также изотермической выдержкой, когда рельсы в течение 2—3 час. выдерживаются в печах при температуре порядка 550°).

Остывшие рельсы передаются в рельсоотделочную, где первой операцией является правка рельсов на роликовых правильных машинах (с дополнительной правкой на эксцентриковых прессах).

Затем производится фрезерование торцов рельсов и сверление дыр, служащих для скрепления рельсов при укладке.

Для увеличения стойкости концов рельсов против износа применяется закалка их (головки концов рельсов нагревают при помощи высокочастотного аппарата, после чего охлаждают водой).

После всех этих операций рельсы подвергаются тщательному осмотру (не допускаются: плены, рванины, трещины, волосовины, закаты на поверхности, а также следы усадочной раковины, рас-

слоения и трещины на торцах; по профилю и длине рельсы должны удовлетворять требованиям технических условий. В соответствии с последними рельсы проходят испытания на удар и растяжение и контроль химического состава стали).

Рельсы с незначительными недостатками зачисляются во второй сорт, рельсы с крупными недостатками, не поддающимися исправлению, направляются на переплавку.

Технологический процесс прокатки балок и швеллеров отличается от прокатки рельсов только отделкой. Из описанных операций применяется только одна правка.

## 92. Станы для производства рельсов и балок

Первые рельсобалочные станы были дуо-реверсивными, с расположением рабочих клетей в одну линию. Такие станы сохранились до сих пор, обычно они имеют три клети дуо с валками диаметром 800—950 *мм* (рис. 267).

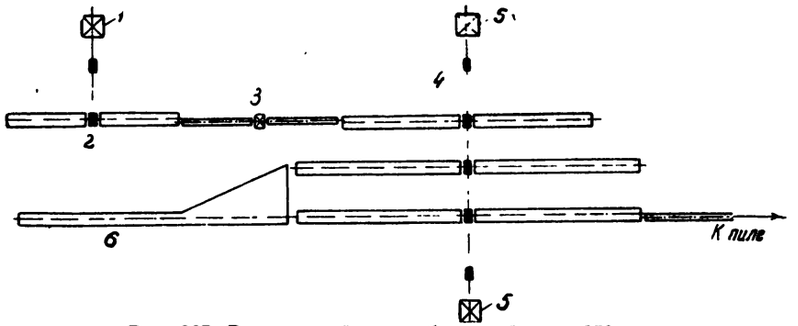



Рис. 267. Реверсивный рельсобалочный стан 850 *мм*:

*1* — мотор блуминга; *2* — блуминг; *3* — ножницы; *4* — рельсобалочный стан; *5* — мотор стана; *6* — жолоб

Слиток, большей частью бессемеровской стали, нагретый в нагревательных колодцах, прокатывается на блуминге в полосу сечением примерно 200 × 200 *мм*; по отводящему рольгангу полоса поступает к ножницам для обрезки переднего и заднего концов, после чего без промежуточного подогрева прокатывается на рельсобалочном стане в готовый рельс.

За годы пятилеток на наших крупных металлургических заводах был построен ряд современных рельсобалочных станов, расположенных в две и более линии, состоящие из четырех-пяти клетей как дуо, так и трио.

Стан, показанный на рис. 268, состоит из четырех клетей, расположенных в три линии. В первой линии имеется одна обжимная дуо-реверсивная клеть с валками диаметром 900 *мм* и длиной бочки 2300 *мм* (приводом служит двигатель постоянного тока мощностью 4250 *л. с.* с числом оборотов ±0—50—120 в минуту).

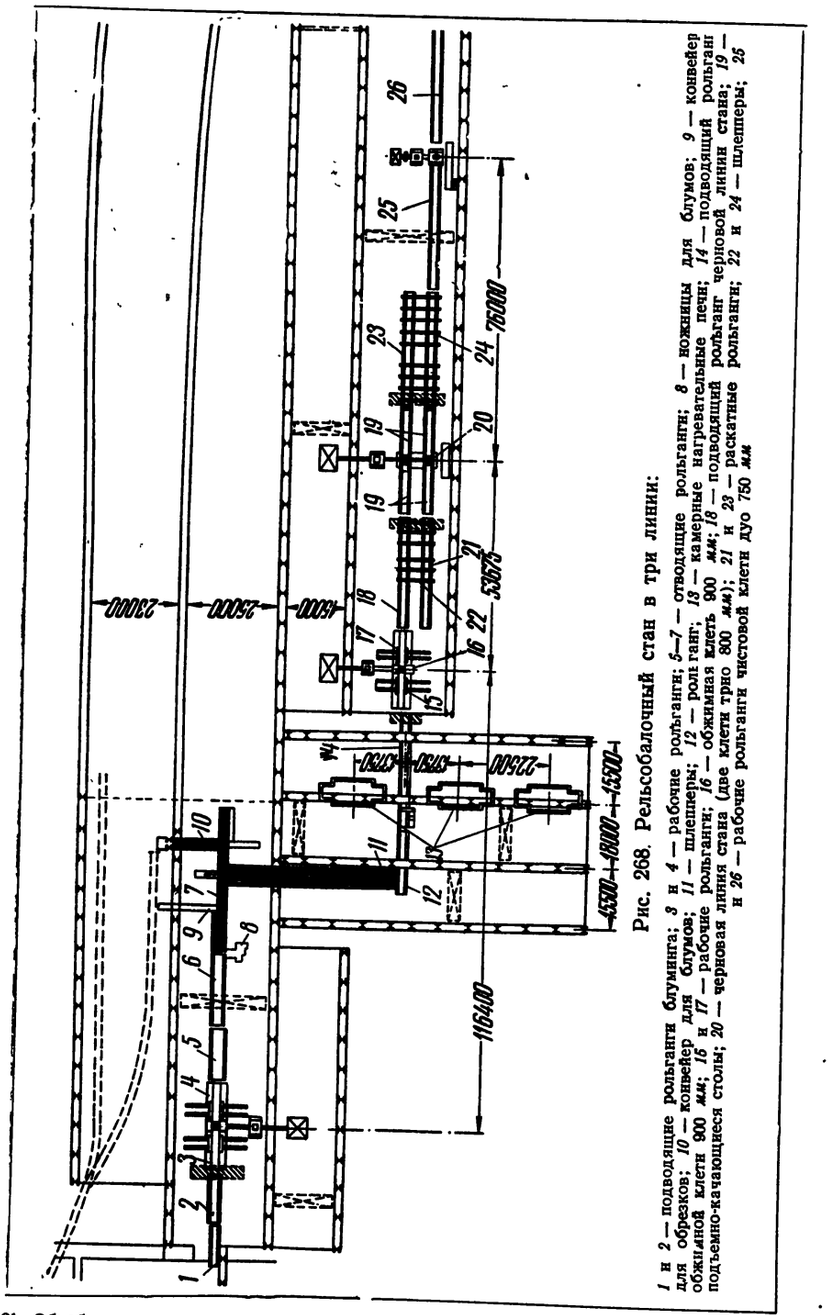



Рис. 268. Рельсобалочный стан в три линии:

*1* и *2* — подводящие рольганги блуминга; *3* и *4* — рабочие рольганги; *5—7* — отводящие рольганги; *8* — ножницы для блумов; *9* — конвейер для обрезков; *10* — конвейер для блумов; *11* — шлеппера; *12* — рольганг; *13* — камерные нагревательные печи; *14* — подводящий рольганг обжимной клети 900 *мм*; *15* и *17* — рабочие рольганги; *16* — обжимная клеть 900 *мм*; *18* — подводящий рольганг черновой линии стана; *19* — подъемно-качающиеся столы; *20* — черновая линия стана (две клети трио 800 *мм*); *21* и *23* — раскатные рольганги; *22* и *24* — шлеппера; *25* и *26* — рабочие рольганги чистовой клети дуо 750 *мм*

На расстоянии около 54 *м* расположена вторая линия, состоящая из двух клетей трио с валками диаметром 800 *мм* и длиной бочки 1800 *мм* (привод от одного двигателя мощностью в 6200 л. с. с числом оборотов 80/160 в минуту).

Далее, на расстоянии 76 *м*, расположена третья линия, состоящая из одной чистовой клети дуо с валками диаметром 750 *мм* и длиной бочки 1100 *мм* (приводом служит двигатель мощностью 1750 *л. с.* с числом оборотов 90—180 в минуту).

Расположение рабочих клетей этого стана способствует повышению производительности стана за счет дифференциации производственного процесса.

На рис. 269 представлен рельсобалочный стан, рабочие клети которого расположены в две линии.

Первая линия состоит из одной дуо-реверсивной обжимной клети с валками диаметром 950 *мм* и длиной бочки 2350 *мм* (приводом служит двигатель постоянного тока мощностью 5000 *л. с.* с числом оборотов 0—50—120 в минуту).

Чистовая линия состоит из трех клетей: две клети трио с валками диаметром 850 *мм* и длиной бочки 2000 *мм* и одна дуо с валками диаметром 780 *мм* и длиной бочки 1200 *мм* (приводом для клетей трио служит двигатель мощностью 6200 *л. с.* числом оборотов 0—50—120 в минуту, и приводом для клети дуо-двигатель мощностью 2500 *л. с.* с числом оборотов 100—275 в минуту).

Прокатка рельсов производится за 12 пропусков; производительность стана — около 1,2 млн. *т* готового проката в год.

Подобные рельсобалочные станы имеют наибольшее распространение (выделение в других станах чистовой клети дуо в самостоятельную линию связано с некоторой задержкой прокатки при передаче полосы от первой клети трио ко второй; кроме того, затрудняется обслуживание стана вследствие увеличения расстояния между линиями и удлиняется здание).

Дуо-реверсивная клеть современных рельсобалочных станов имеет подъем верхнего валка, который используется при прокатке балок. С обеих сторон этой клети имеются манипуляторы и кантователи.

Клети трио этих станов оборудуются качающимися столами. Передача полосы из клети в клеть осуществляется при помощи шлепперов. Задача полосы в валки и кантовка ее производятся соответствующими манипуляторами и кантователями, установленными на качающихся столах.

На современных рельсобалочных станах прокатываются два типа балок: 1) балки нормального типа, имеющие уклон внутренних поверхностей 14% и максимальную высоту 600 *мм*; 2) балки с уклоном в 9% и с более тонкой стенкой, также имеющие наибольшую высоту 600 *мм*. В последнем случае при прокатке балок максимального размера, современные рельсобалочные станы оборудуются сменной универсальной клетью, устанавливаемой на месте чистовой клети дуо.

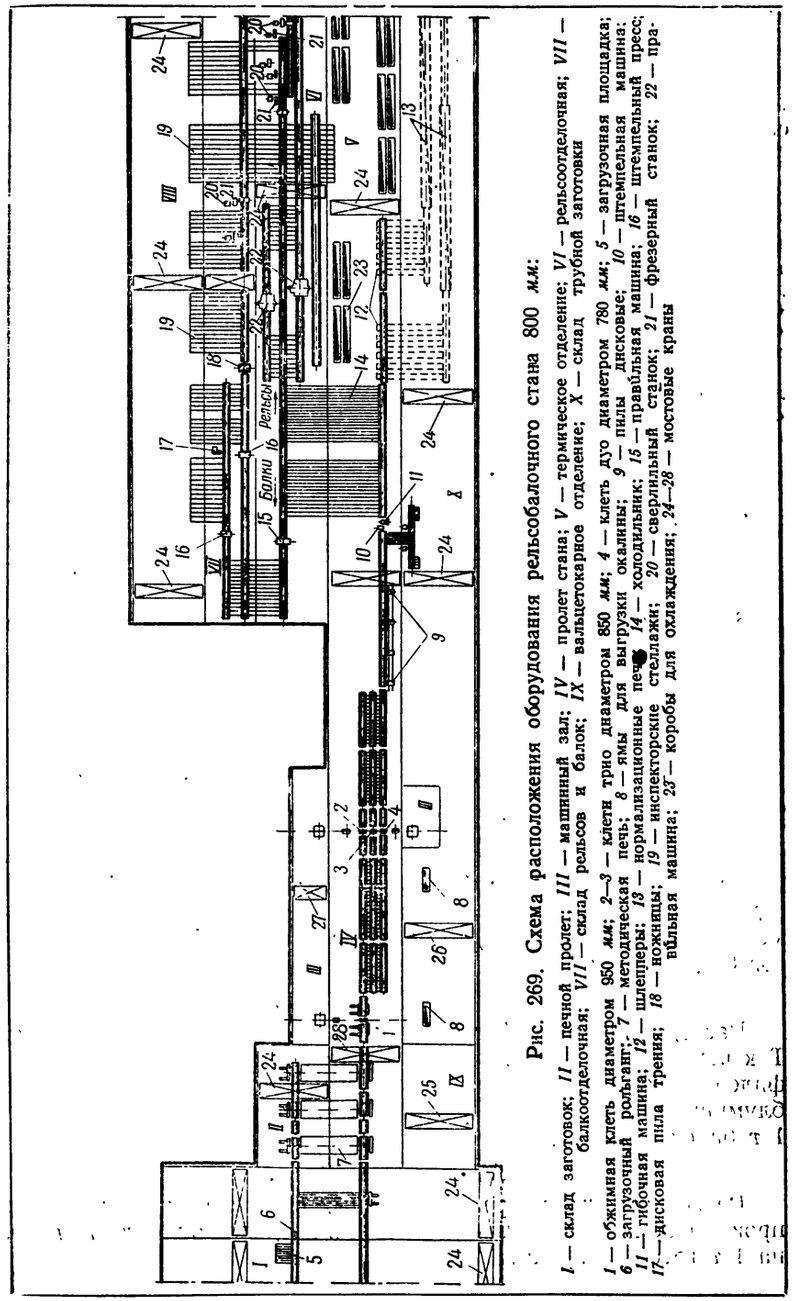



Рис. 269. Схема расположения оборудования рельсобалочного стана 800 *мм*:

*I* — склад заготовок; *II* — печной пролет; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — термическое отделение; *VI* — рельсоотделочная; *VII* — балкоотделочная; *VII'* — склад рельсов и балок; *IX* — вальцетокарное отделение; *X* — склад трубной заготовки

*1* — обжимная клеть диаметром 950 *мм*; *2—3* — клети трио диаметром 850 *мм*; *4* — клеть дуо диаметром 780 *мм*; *5* — загрузочная площадка; *6* — загрузочный рольганг; *7* — методическая печь; *8* — ямы для выгрузки окалины; *9* — пилы дисковые; *10* — штемпельная машина; *11* — гибочная машина; *12* — шлепперы; *13* — нормализационные печи; *14* — холодильник; *15* — правильная машина; *16* — штемпельный пресс; *17* — дисковая пила трения; *18* — ножницы; *19* — инспекторские стеллажи; *20* — сверлильный станок; *21* — фрезерный станок; *22* — правильная машина; *23* — коробы для охлаждения; *24—28* — мостовые краны

В последнее время все более расширяется производство широкополочных балок с параллельными полками с наибольшей высотой 1000 *мм* и балок с тонкими стенками с наибольшей высотой 300 *мм*. Прокатка широкополочных балок с параллельными полками и высотой больше 200 *мм* производится только на универсальных станах.

На рис. 270. изображен универсальный стан для прокатки широкополочных балок высотой до 1000 *мм*. Исходным материалом служат слитки весом до 20 *т* прямоугольного и фасонного двутаврового сечения (для прокатки балок высотой более 600 *мм*), которые прокатываются в черновой профиль балки на дуо-реверсивном блуминге с валками диаметром 1475 *мм* с индивидуальным приводом валков.

После обрезки концов на ножницах полоса направляется к черновой линии универсального стана, состоящей из вспомогательной клети дуо, где обрабатываются только кромки полок, и к четырехвалковой главной универсальной клети, где горизонтальные валки обрабатывают шейку и внутренние поверхности полок, вертикальные — наружные поверхности полок (рис. 271).

После прокатки в клетях черновой линии полоса поступает в промежуточную линию стана, которая отличается от черновой тем, что вспомогательная клеть установлена после главной для обработки кромок полок перед последним чистовым пропуском, который производится в чистовой универсальной клети.

Балки с тонкими стенками высотой до 300 *мм* прокатываются на непрерывных станах.

## 93. Технико-экономические показатели производства рельсов и балок

К отходам при производстве рельсов относятся: обрезки у пил, окалина, стружка при фрезеровании и сверлении, пробные куски рельсов (для копровых испытаний) и потери на рубку концов в рельсоотделочной, что составляет около 5% от всада. Выход годных рельсов из блумов: 100—5 = 95%; расход блумов на 1 *т* годных рельсов: 100 : 95 = 1,05 *т*. Если расход слитков на 1 *т* блумов принять равным 1,25, то расход слитков на 1 *т* годных рельсов будет равен:

$$1{,}25 \cdot 1{,}05 = 1{,}31 \ т.$$

Расход блумов на 1 *т* балок можно принять равным 1,06 *т*. Так как подавляющее количество балок и других фасонных профилей прокатывается из кипящей стали, то расход металла на блуминге можно принять равным 1,12. Тогда расход слитков на 1 *т* балок составит:

$$1{,}12 \cdot 1{,}06 = 1{,}187 \ т.$$

Расход энергии на рельсобалочных станах в зависимости от прокатываемого профиля колеблется в пределах от 45 до 70 *квт-ч* на 1 *т* готового проката.

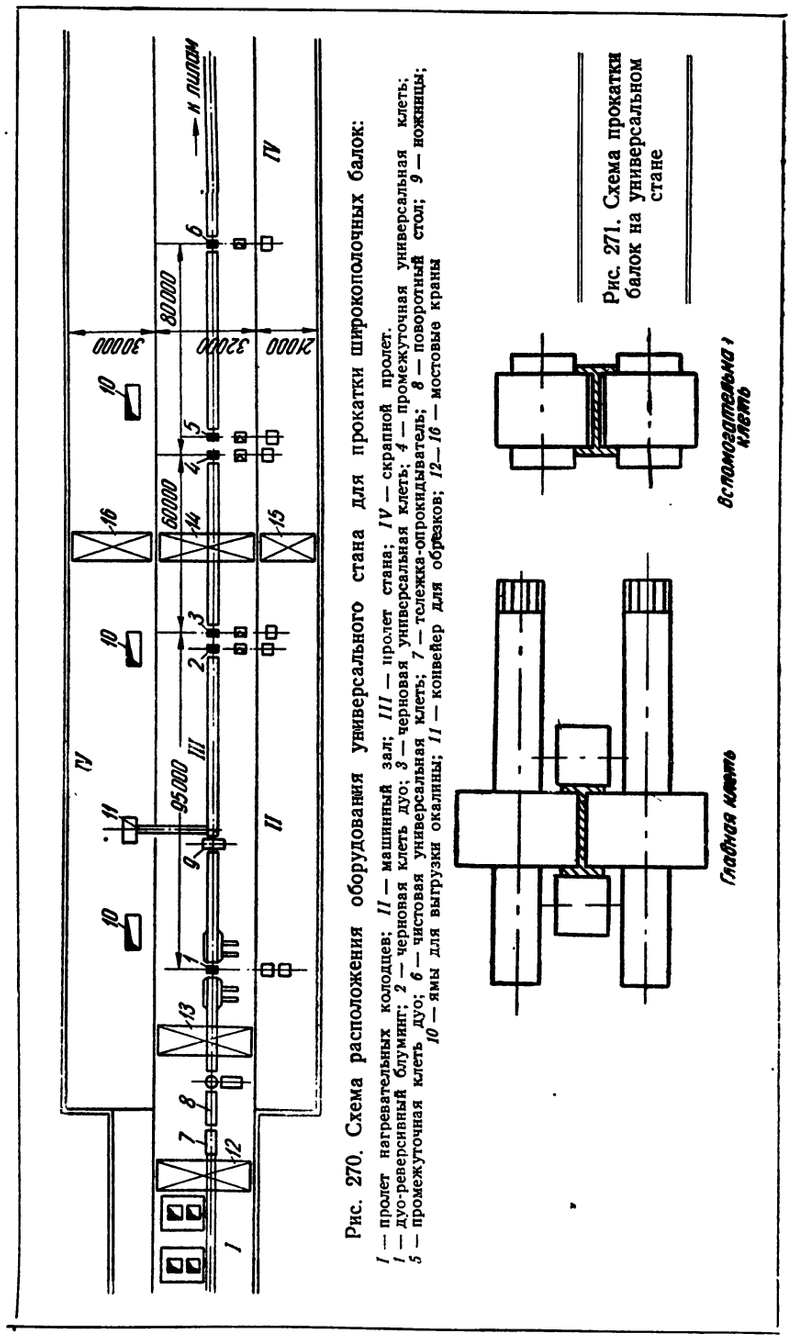



Рис. 270. Схема расположения оборудования универсального стана для прокатки широкополочных балок:
*I* — пролет нагревательных колодцев; *II* — машинный зал; *III* — пролет стана; *IV* — скрапной пролет.
*1* — дуо-реверсивный блуминг; *2* — черновая клеть дуо; *3* — черновая универсальная клеть; *4* — промежуточная универсальная клеть; *5* — промежуточная клеть дуо; *6* — чистовая универсальная клеть; *7* — тележка-опрокидыватель; *8* — поворотный стол; *9* — ножницы; *10* — ямы для выгрузки окалины; *11* — конвейер для обрезков; *12*—*16* — мостовые краны




Рис. 271. Схема прокатки балок на универсальном стане

*Глава XXII*

# ПРОИЗВОДСТВО СОРТОВОГО МЕТАЛЛА И ПРОВОЛОКИ

## 94. Сортамент и технологический процесс прокатки сортового металла

Современные сортовые станы с валками диаметром 250—750 *мм* прокатывают следующие профили:

сталь круглая от 8 до 150 *мм*;
сталь квадратная от 8 до 150 *мм*;
сталь полосовая шириной от 30 до 350 *мм*;
сталь угловая равнобокая от 20 × 20 до 150 × 150 *мм*;
сталь угловая неравнобокая от 30 × 20 до 150 × 120 *мм*;
швеллеры высотой от 50 до 300 *мм*;
балки высотой от 80 до 300 *мм*.
рельсы рудничные с весом 1 *пог. м* до 30 *кг*.

Кроме того, на этих станах прокатывается большое количество специальных профилей, идущих в различные отрасли машиностроения.

На современных проволочных станах прокатывается проволока (катанка) диаметром, главным образом 6—10 *мм*.

Часть продукта является готовыми изделиями; другая часть является полуфабрикатом для дальнейшей обработки: штамповкой, прессовкой, обточкой, волочением и т. д.

Сортовой металл поставляется в прутках различной длины, обычно от 3 *м* до наибольшей возможной. Проволока выпускается в мотках, весом от 50 до 250 *кг* и больше.

Применение в качестве исходного материала слитков встречается лишь на сортовых станах линейного типа старых металлургических заводов, реконструкция которых еще не завершена. Правильный выбор веса и размеров заготовки для современного стана обеспечивает высокое качество изделий, высокий выход годного и максимальную производительность.

При большем весе и большей длине полосы повышается производительность стана, снижаются потери в обрезках, уменьшаются расходы на обслуживание, т. е. повышается экономичность работы стана. Однако длина готовой полосы ограничена допустимой температурой конца прокатки и тем, что с увеличением длины разница температуры между передним и задним концом полосы возрастает, а вместе с тем возрастает и разница в размерах и качестве проката. Наиболее благоприятные условия для достижения равномерного сечения полосы имеются на непрерывных станах, где прокатка ведется с наименьшим временем прохождения полосы через стан.

На длину полосы и, следовательно, вес и размеры заготовки влияют также: устройство прокатного стана, длина рольгангов, длина холодильника, расстояние между последней клетью и пилами или ножницами, а также размеры пода нагревательных печей, тип и мощность заготовочных станов, имеющихся на заводе.

На наших заводах при прокатке на сортовых станах с валками диаметром 250—350 *мм* обычно применяется заготовка сечением



55 × 55 ÷ 125 × 125 *мм*, длиной до 9000—10 000 *мм*; на станах же с валками диаметром 350—750 *мм* — заготовка сечением 100 × 100 ÷ 250 × 250 *мм* и выше, длиной до 9000 *мм*.

Заготовка, прокатанная на блумингах и заготовочных станах, поступает на общий склад, оборудованный кранами и зачистными средствами для удаления поверхностных дефектов (рис. 272). В пролеты склада выходят загрузочные рольганги нагревательных печей сортовых станов.

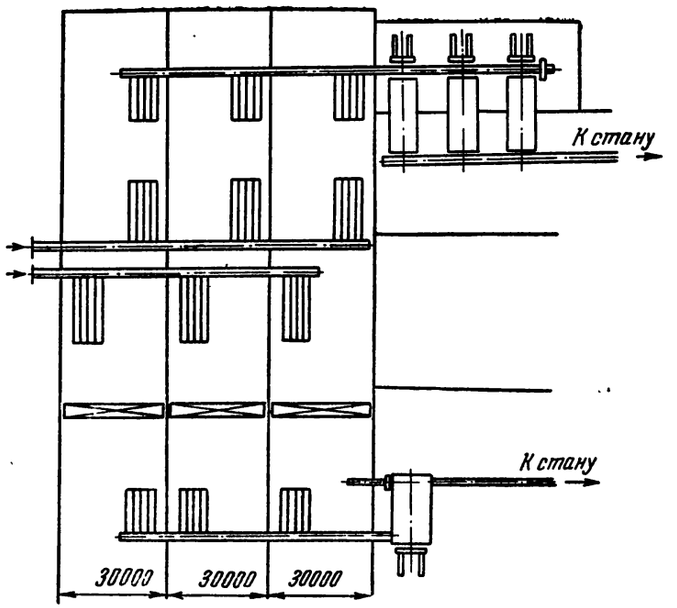



Рис. 272. Склад заготовок сортопрокатных станов

Для нагрева заготовки применяются большей частью методические рекуперативные печи различной конструкции, работающие на смеси доменного и коксового газов.

Заготовка сечением от 100 × 100 *мм* и выше, длиной до 6000 *мм* обычно нагревается в методических печах с торцевой посадкой и выдачей. Нагрев заготовки сечением меньше 100 × × 100 *мм*, длиной 9000 *мм* производится в печах с боковой посадкой и выдачей.

Температура нагрева заготовки в зависимости от состава стали различна и колеблется, большей частью, в пределах от 1100 до 1200°. Схемы прокатки на данном стане должны обеспечить по

возможности выбор одинаковой общей заготовки (упрощение работы заготовочных станов, объединение черновых пропусков с прокаткой различных профилей без смены валков в черновых клетях, минимальное число пропусков и максимальная скорость прокатки).

Охлаждение полос, прокатанных на сортовых станах, производится на автоматических холодильниках, на которых происходит также и правка.

Резка металла ведется как в горячем, так и в холодном состоянии. Для дополнительной правки служат роликовые правильные машины (рис. 185). Для сматывания проволоки в бунты применяются моталки различного типа. Готовые изделия подвергаются осмотру и контролю на складе готового продукта, который является общим для всех сортовых станов цеха. После осмотра и удаления поверхностных дефектов производятся маркировка, пакетирование и погрузка готового проката в железнодорожные платформы.

## 95. Станы для производства сортового металла

Сортовые станы часто делятся на следующие три группы:

1) крупносортные станы с валками диаметром 500—750 *мм* для прокатки тяжелого фасонного и сортового металла;

2) среднесортные станы с валками диаметром 350—500 *мм* для прокатки среднего фасонного и сортового металла;

3) мелкосортные станы с валками диаметром 250—350 *мм* для прокатки наиболее легких сортов сортового металла.

К сортовым станам относятся и рельсобалочные станы, рассмотренные нами отдельно из-за их резкой специализации.

По устройству сортовые станы можно разделить на следующие три типа:

1) станы линейного типа, состоящие из различного количества клетей, расположенных в две и более линий;

2) полунепрерывные станы, имеющие непрерывную подготовительную группу и чистовую линию, состоящую из нескольких клетей;

в) станы с последовательным расположением клетей.

Сортовые станы линейного типа являются типичными станами старых прокатных цехов. В последние годы эти станы устанавливаются редко, главным образом с валками диаметром 450—700 *мм* для прокатки крупных размеров сортового металла.

Прокатные валки каждой линии приводятся от отдельных двигателей, обеспечивающих значительную регулировку числа оборотов валков; станы оборудуются рольгангами, манипуляторами, кантователями, качающимися столами, шлепперами, салазковыми пилами, механическими холодильниками и другими механизмами.



Черновая линия одного из таких новых станов 630 *мм* (рис. 273) имеет дуо-реверсивную клеть с валками диаметром 780 *мм* и длиной бочки 2000 *мм* (приводом служит двигатель постоянного тока мощностью 4000 *л. с.* и 0—50—120 об/мин). Чистовая линия состоит из двух клетей трио и одной дуо с валками диаметром 630 *мм* и длиной бочки 1500 *мм* у трио и 1200 *мм* у дуо (приводом является двигатель мощностью 4000 *л. с.* и 60—120 об/мин).

Для нагрева заготовки имеются три методические рекуперативные печи с торцевой выдачей, работающие на смеси доменного и коксового газов, производительность одной печи около 50 *т* в час. Производительность стана зависит от программы прокатки и составляет 500—600 тыс. *т* готового проката в год.

В качестве второго примера современного высокопроизводительного сортового стана линейного типа можно привести среднесортный стан 450 *мм* (рис. 274).

В отличие от стана 630 *мм*, черновая линия этого стана состоит из одной клети трио, а чистовая — из трех клетей трио и одной клети дуо.

Стан прокатывает качественную углеродистую и легированную сталь, большей частью круглого сечения диаметром от 48 до 100 *мм*.

Производительность стана в зависимости от программы прокатки составляет 200—300 тыс. *т* готового проката в год.

Станы с последовательным расположением клетей. Сюда относятся станы непрерывные с зигзагообразным расположением клетей и шахматные, являющиеся типичными станами современных прокатных цехов (рис. 93, 94, 95).

Общей чертой этих станов является то, что в каждой клети производится только один пропуск, а диаметр валков и число оборотов их подбираются таким образом, чтобы во всех клетях соблюдалось соотношение:

$$\omega_п \cdot v_п \approx \text{const}$$

где $\omega_п$ — площадь сечения прокатываемой полосы при выходе из данной клети;

$v_п$ — скорость выхода полосы из этой же клети.

В непрерывных станах рабочие клети располагаются таким образом, что полоса прокатывается одновременно во всех или нескольких клетях; в станах с зигзагообразным расположением клетей и шахматных полоса одновременно прокатывается только в одной клети (за исключением первых клетей, где в некоторых случаях полоса прокатывается одновременно в двух клетях).

Новейшие станы с зигзагообразным расположением клетей имеют валки диаметром 450—650 *мм* для прокатки крупного сорта.

На рис. 275 показан стан 530 *мм* одного из новых заводов. Этот весьма совершенный стан состоит из 9 рабочих клетей, расположенных последовательно, для сокращения общей длины, в три ряда. В первом ряду пять клетей, во втором — три и в третьем — одна клеть.

Первые четыре клети стана с валками диаметром 630 *мм* приводятся от двигателя мощностью 2200 *квт* и 300 об/мин; два двигателя мощностью по 1850 *квт*, 300—600 об/мин приводят попарно клети 5—6 и 8—9 с валками диаметром 530 *мм* и четвертый двигатель — мощностью 1100 *квт* и 300—600 об/мин приводит клеть 7 с валками диаметром 530 *мм*.

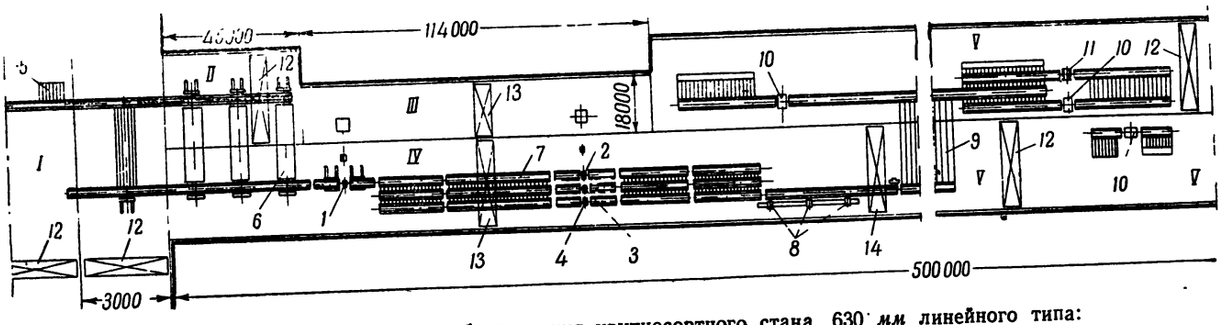



Рис. 273. Схема расположения оборудования крупносортного стана 630 *мм* линейного типа:

*I* — склад заготовок; *II* — печное отделение; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — склад готовой продукции
*1* — обжимная клеть; *2—3* — клети трио 630 *мм*; *4* — клеть дуо 630 *мм*; *5* — загрузочная площадка; *6* — печь; *7* — рабочий рольганг; *8* — пилы горячей резки; *9* — холодильник; *10* — правильные машины; *11* — ножницы; *12—14* — мостовые краны

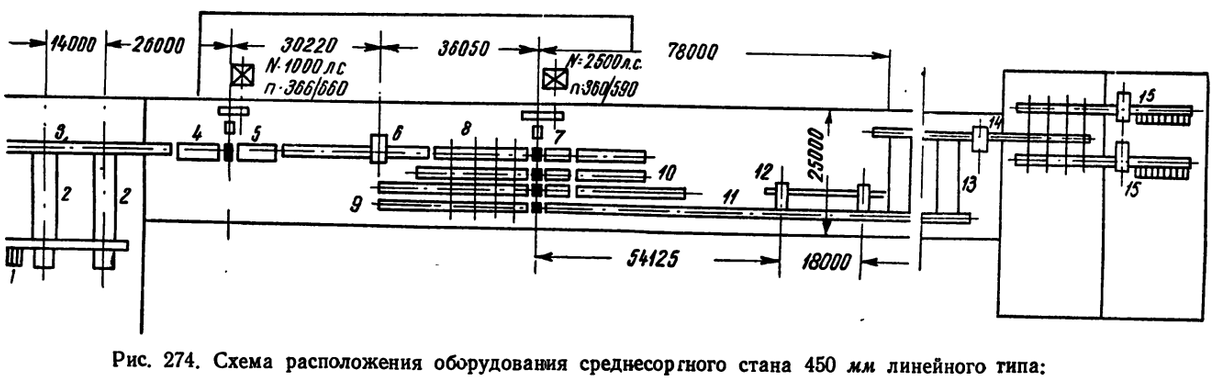



Рис. 274. Схема расположения оборудования среднесортного стана 450 *мм* линейного типа:

*1* — загрузочный рольганг; *2* — нагревательные печи; *3* — подводящий рольганг стана; *4* — рабочий рольганг черновой линии; *5* — подъемно-качающийся стол черновой линии; *6* — ножницы для разрезки заготовки; *7* — подъемно-качающиеся столы чистовой линии; *8* — шлепперы; *9* — рабочие рольганги передней стороны чистовой линии; *10* — рабочие рольганги задней стороны чистовой линии; *11* — отводящий рольганг стана; *12* — салазковые пилы; *13* — холодильники; *14* — роликовая правильная машина; *15* — ножницы для холодной резки

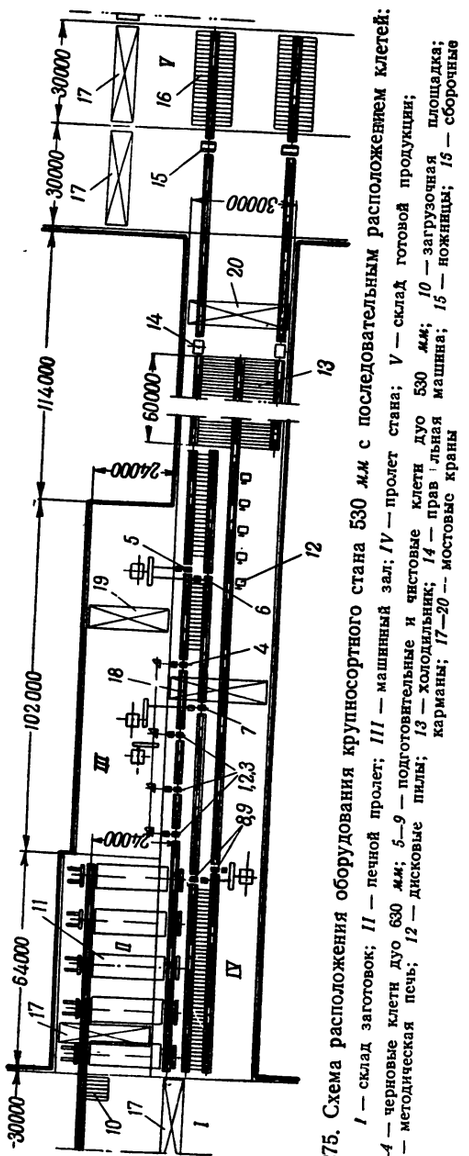



Рис. 275. Схема расположения оборудования крупносортного стана 530 *мм* с последовательным расположением клетей:
*I* — склад заготовок; *II* — печной пролет; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — склад готовой продукции;
*1—4* — черновые клети дуо 630 *мм*; *5—9* — подготовительные и чистовые клети дуо 530 *мм*; *10* — загрузочная площадка;
*11* — методическая печь; *12* — дисковые пилы; *13* — холодильник; *14* — правильная машина; *15* — ножницы; *16* — сборочные карманы; *17—20* — мостовые краны



Передача полос производится шлепперами. В табл. 15 приведены дополнительные данные по этому стану.

*Таблица 15*

**Характеристика рабочих клетей стана 530 *мм* с зигзагообразным расположением клетей**

| № клетей | Рабочие клети | | | |
|---|---|---|---|---|
| | диаметр валков, *мм* | длина бочки валков, *мм* | число об/мин | скорость прокатки *м/сек* |
| 1 | 630 | 965 | 28,4 | 0,9 |
| 2 | 630 | 965 | 35,9 | 1,15 |
| 3 | 630 | 965 | 49,5 | 1,56 |
| 4 | 630 | 965 | 63,7 | 2,0 |
| 5 | 530 | 965 | 53,4—106,8 | 1,4—2,8 |
| 6 | 530 | 965 | 68,4—136,9 | 1,8—3,6 |
| 7 | 530 | 965 | 86—172 | 2,25—4,5 |
| 8 | 530 | 965 | 101,8—203,6 | 2,65—5,3 |
| 9 | 530 | 965 | 114,6—229,2 | 3,0—6,0 |

Прокатанная полоса поступает к пяти салазковым пилам, либо, минуя их без разрезки поступает на подводящий рольганг двухстороннего цепного холодильника, где и остывает. На отводящих рольгангах установлены роликовые правильные машины, далее расположены ножницы для холодной резки с максимальным давлением 500 *т* и сборочные карманы, куда полосы сталкиваются с рольганга и убираются затем краном на склад готового продукта.

Сортамент стана следующий:

сталь круглая от 50 до 150 *мм*;

сталь квадратная от 60 до 150 *мм*;

сталь полосовая от $130 \times 20 \div 50$ до $200 \times 10 \div 40$ *мм*;

сталь угловая от $75 \times 75$ до $120 \times 120$ *мм*;

швеллеры и балки высотой 100—200 *мм*;

рельсы рудничные до 24 *кг/пог. м*;

рельсовые скрепления для железнодорожных рельсов.

Для прокатки этих профилей применяется заготовка сечением от $125 \times 125$ до $200 \times 200$ *мм*, длиной 4,5 *м* и весом до 1400 *кг*. Максимальная длина прокатываемых полос 50 *м*.

Производительность стана около 1,0 млн. *т* готового проката в год.

На рис. 276 показан непрерывный сортовой стан 360 *мм*.

Черновая группа стана состоит из семи рабочих клетей: пять клетей с горизонтальными и две с вертикальными валками; каждая клеть приводится от отдельного двигателя.

Между черновой и чистовой группами установлены летучие ножницы барабанного типа для обрезки концов или аварийной разрезки. Чистовая группа имеет восемь рабочих клетей, из которых пять клетей с горизонтальными и три с вертикальными валками. Клети приводятся от отдельных двигателей с широкой регулировкой числа оборотов.

В табл. 16 приводятся данные, характеризующие этот стан.

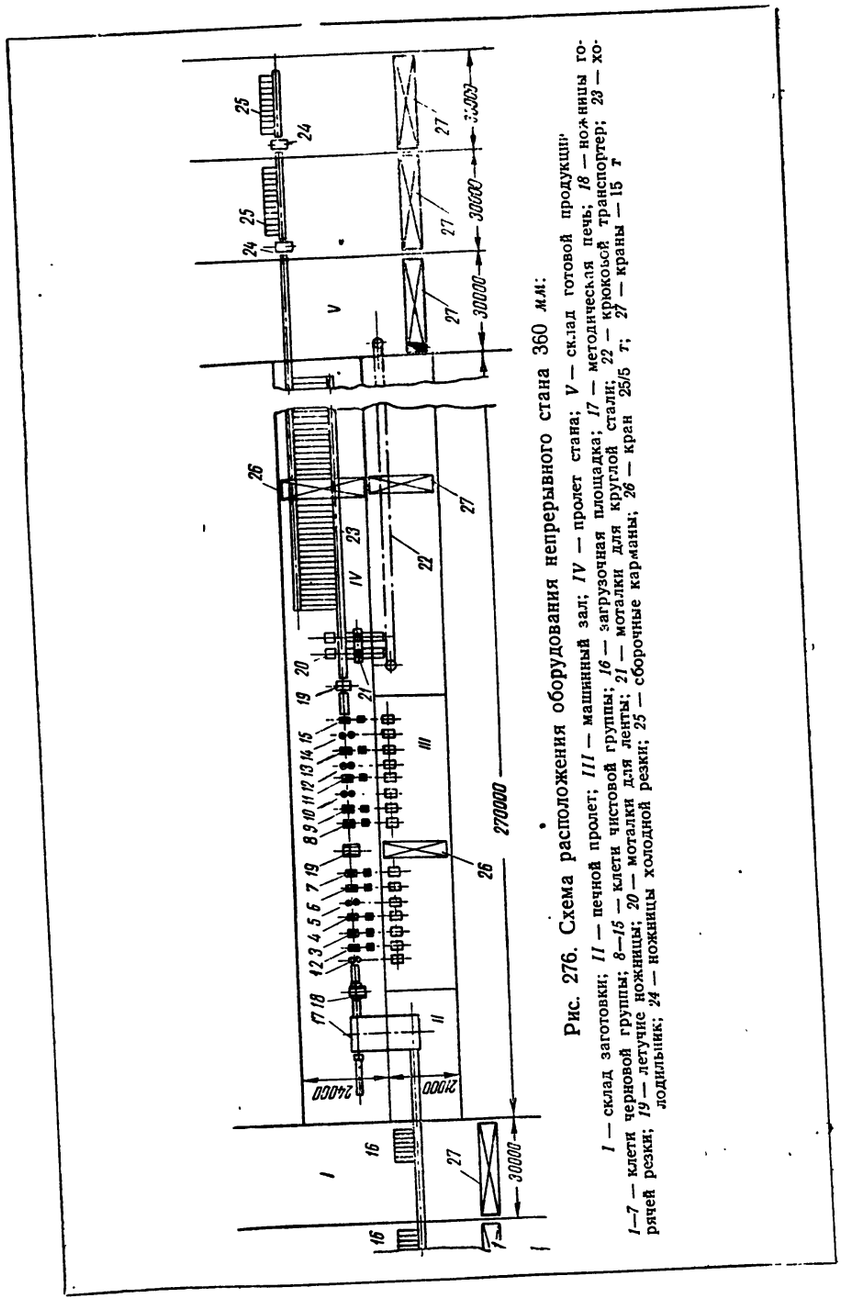



Рис. 276. Схема расположения оборудования непрерывного стана 360 *мм*:

*I* — склад заготовки; *II* — печной пролет; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — склад готовой продукции; *1—7* — клети черновой группы; *8—15* — клети чистовой группы; *16* — загрузочная площадка; *17* — методическая печь; *18* — ножницы горячей резки; *19* — летучие ножницы; *20* — моталки для ленты; *21* — моталки для круглой стали; *22* — крюковой транспортер; *23* — холодильник; *24* — ножницы холодной резки; *25* — сборочные карманы; *26* — кран 25/5 *т*; *27* — краны — 15 *т*



*Таблица 16*

**Характеристика рабочих клетей непрерывного стана 360 *мм***

| № клетей | Рабочие валки | | | Двигатели | |
|---|---|---|---|---|---|
| | диаметр *мм* | длина бочки *мм* | число об/мин | мощность *квт* | число об./мин |
| Клеть 1 с вертикальными валками | 410 | 200 | 7—21 | 75 | 300—900 |
| 2 | 410 | 700 | 9,5—28,5 | 435 | 300—900 |
| 3 | 410 | 700 | 12—36 | 435 | 300—900 |
| 4 | 410 | 700 | 16—48 | 580 | 300—900 |
| Клеть 5 с вертикальными валками | 410 | 400 | 22—66 | 435 | 300—900 |
| 6 | 410 | 700 | 30—90 | 580 | 300—900 |
| 7 | 410 | 700 | 40—120 | 580 | 300—900 |
| 8 | 360 | 600 | 70—185 | 685 | 300—800 |
| 9 | 360 | 600 | 90—240 | 685 | 300—800 |
| Клеть 10 с вертикальными валками | 360 | 400 | 105—280 | 685 | 300—800 |
| 11 | 360 | 600 | 130—350 | 670 | 300—800 |
| Клеть 12 с вертикальными валками | 360 | 400 | 165—440 | 685 | 300—800 |
| 13 | 360 | 500 | 195—530 | 670 | 300—800 |
| Клеть 14 с вертикальными валками | 360 | 400 | 330—880 | 685 | 300—800 |
| 15 | 360 | 500 | 300—800 | 670 | 300—800 |

Установка калибра на линию прокатки производится путем передвижения клети по плитовинам при помощи специального устройства; перевалка валков осуществляется целыми клетями.

Исходная заготовка квадратного сечения $75 \div 100$ *мм* длиной 9000—10 000 *мм* и весом до 770 *кг* выпускается непрерывнозаготовочным станом.

Готовым продуктом стана являются:
сталь круглая и квадратная от 10 до 50 *мм*;
сталь полосовая $25 \div 100 \times 4 \div 12$ *мм*;
сталь угловая от $20 \times 20$ до $50 \times 50$ *мм*;
лента $50—200 \times 1{,}5 \div 3{,}5$ *мм* и др.

Прокатанные полосы перед поступлением на холодильники режутся на части, равные длине холодильников, на летучих ножницах барабанного типа, установленных за чистовой группой стана.

Для охлаждения металла после прокатки имеется реечный холодильник, конструкция которого дает возможность принимать металл как на гладкие рейки, так и на рейки с зубцами, причем на гладких рейках можно укладывать полосы непрерывным слоем и отдельными группами.

После охлаждения прокатанный металл проходит правку, резку, осмотр и затем отправляется на склад. Для сматывания круглой и квадратной стали мелких размеров в бунты установлены две моталки. Для уборки рулонов и бунтов от моталок имеется крюковой транспортер (рис. 190).

Производительность стана 450—500 тыс. *т* готового проката в год .

На рис. 277 показан полунепрерывный сортовой стан 250 *мм*. Непрерывная группа состоит из восьми клетей с валками диаметром 370 *мм* у первых шести клетей и 320 *мм* у клетей 7 и 8. Чистовая группа состоит из четырех клетей, расположенных в одну линию с валками диаметром 270 *мм*. Прокатка в этих клетях ведется петлями.

На стане прокатывается следующий сортамент:

сталь круглая от 8 до 18 *мм*;

сталь квадратная от 10 до 18 *мм*;

сталь полосовая от $20 \times 4 \div 10$ до $50 \times 4 \div 5$ *мм*;

сталь угловая от $20 \times 20$ до $35 \times 35$ *мм*.

Заготовка имеет сечение $55 \times 55$ и $75 \times 75$ *мм* и длину 9 *м*

Между первой клетью стана и печью имеются ножницы для резки горячей заготовки на части (если это требуется). После ножниц заготовка поступает в распределитель, который направляет ее в тот или другой калибр первой клети.

В табл. 17 приводятся данные, характеризующие этот стан. Между станом и двухсторонним реечным холодильником установлены летучие ножницы которые могут резать одновременно четыре полосы на части, равные длине холодильника.

*Таблица 17*

**Характеристика рабочих клетей полунепрерывного стана 250 *мм***

| № клетей | Рабочие валки | | | Двигатели | |
|---|---|---|---|---|---|
| | диаметр *мм* | длина бочки *мм* | число об/мин. | мощность *л. с.* | число об./мин. |
| 1 | 370 | 800 | 14—28 | 2500 | 300—600 |
| 2 | 370 | 800 | | | |
| 3 | 370 | 800 | | | |
| 4 | 370 | 800 | | | |
| 5 | 370 | 800 | | | |
| 6 | 370 | 800 | | | |
| 7 | 320 | 800 | 102—204 | 1000 | 275—600 |
| 8 | 320 | 800 | | | |
| 9 | 270 | 700 | 275—600 | 1000 | 275—600 |
| 10 | 270 | 700 | | | |
| 11 | 270 | 700 | | | |
| 12 | 270 | 700 | | | |

После охлаждения полосы поступают к ножницам холодной резки, где режутся на длины от 2 до 25 *м*, а затем после пакетировки в карманах, установленных за ножницами, отправляются на склад.

Если после прокатки металл сматывается в бунты, то он поступает на моталки с вращающимся барабаном, установленные за станом. Из моталок бунты попадают на тарелки передаточного механизма, с которых они забираются крюками подвесного цепного транспортера и подаются к разгрузочной площадке для вязки бунтов. Производительность стана 250—300 тыс. *т* готового проката в год.

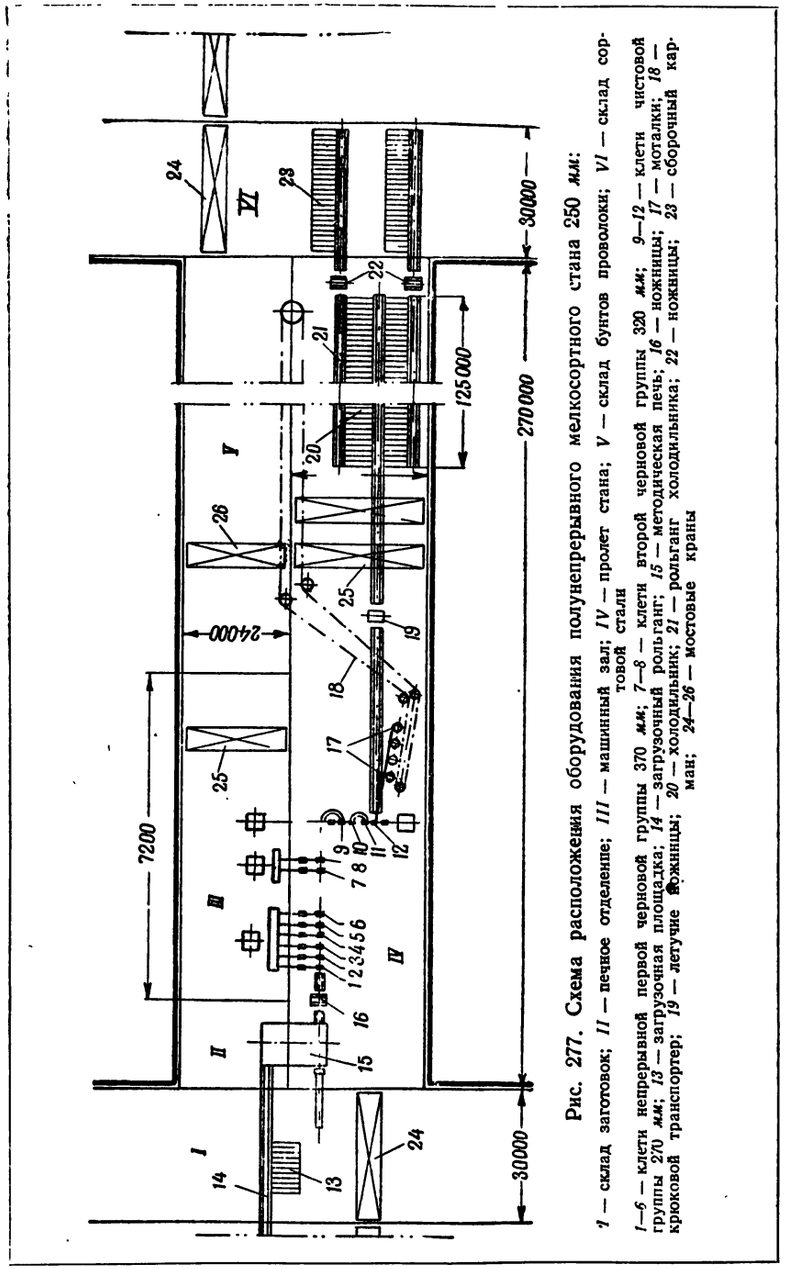



Рис. 277. Схема расположения оборудования полунепрерывного мелкосортного стана 250 *мм*:

*I* — склад заготовок; *II* — печное отделение; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — склад бунтов проволоки; *VI* — склад сортовой стали

*1—6* — клети непрерывной первой черновой группы 370 *мм*; *7—8* — клети второй черновой группы 320 *мм*; *9—12* — клети чистовой группы 270 *мм*; *13* — загрузочная площадка; *14* — загрузочный рольганг; *15* — методическая печь; *16* — ножницы; *17* — моталки; *18* — крюковой транспортер; *19* — летучие ножницы; *20* — холодильник; *21* — рольганг холодильника; *22* — ножницы; *23* — сборочный карман; *24—26* — мостовые краны

## 96. Станы для прокатки проволоки (катанки)

В настоящее время, благодаря улучшению многократного холодного волочения, изготовление проволоки малых диаметров этим процессом достаточно экономично и поэтому горячей прокаткой производят проволоку большого диаметра (катанку); наивыгоднейшим размером считается 6 *мм*.

Для прокатки проволоки применяются три основных типа станов: линейные, полунепрерывные и непрерывные, из которых наиболее современными следует признать непрерывный и полунепрерывный проволочные станы.

На рис. 278 представлен стан линейного типа. Первая черновая линия состоит из одной клети трио с валками диаметром 500 *мм* и длиной бочки 1500 *мм*; число оборотов валков 120 в минуту; приводом служит двигатель мощностью 1000 *л. с.*

Вторая черновая линия имеет три клети переменное дуо с валками диаметром 330 *мм* и длиной бочки 900 *мм* (270 об/мин). Приводом служит двигатель мощностью 1000 *л. с.*

Первая чистовая линия состоит из пяти клетей переменное дуо с валками диаметром 250—290 *мм*, длиной бочки 700 *мм* (500 об/мин). Приводом служит двигатель мощностью 1500 *л. с.*

Вторая чистовая линия состоит из четырех клетей переменное дуо с валками диаметром 250—290 *мм*, длиной бочки 700 *мм* (600 об/мин). Приводом служит двигатель мощностью 1500 *л. с.*

Заготовка имеет сечение $100 \times 100 \div 150 \times 150$ *мм*, из которой получается два мотка по 60—90 *кг* каждый.

Клеть первой черновой линии с передней стороны оборудована пластинчатым кантователем (рис. 205), с задней — качающимся столом (рис. 201).

Прокатанная в первой линии полоса подается к ножницам, где обрезаются концы и полоса разрезается на две части, которые последовательно поступают во вторую черновую линию. Во второй черновой линии в каждой клети производится один пропуск. Из этой линии полоса по жолобу передается в первую клеть первой чистовой линии, а из нее по обводке во вторую чистовую линию. В клетях этих линий производится также один пропуск, но прокатка петлевая.

Первая и вторая чистовые линии обслуживаются с передней стороны вальцовщиками, а с задней оборудованы обводками.

Для уборки проволоки установлено пять моталок и крюковой транспортер.

Производительность этого одного из лучших станов литейного типа 100—120 тыс. *т* готового проката в год.

На рис. 279 показан непрерывный проволочный стан. Прокатка осуществляется без образования петель (и только между некоторыми группами клетей допускаются петли небольшой длины). Первая клеть стана расположена в непосредственной близости к печи, вследствие чего большая часть заготовки, имеющей длину 9000—9500 *мм*, находится в печи и выходит из нее постепенно по мере продвижения предыдущей части через стан, причем передний конец может достигать моталок, когда задний конец еще находится в печи.

Благоприятные условия сохранения тепла и выравнивание температуры по длине полосы позволили увеличить время прокатки в последней клети до 65 сек. (вместо 35—40 сек. в других станах). Большая скорость прокатки в последней клети (23 *м/сек*, что в 3 раза выше скорости в линейных и полунепрерывных станах с частичной ручной задачей металла в валки) позволила увеличить вес мотка на этих станах до 220 *кг*.

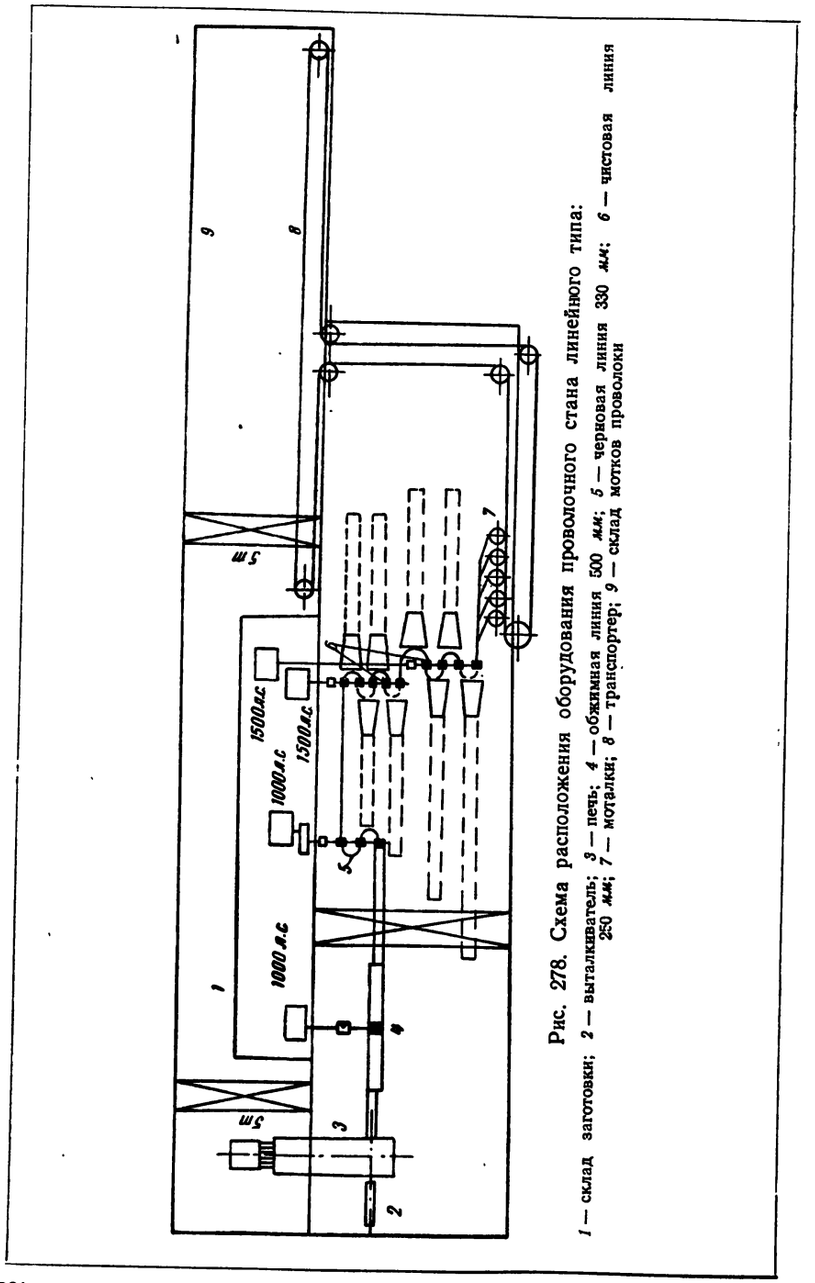



Рис. 278. Схема расположения оборудования проволочного стана линейного типа:
*1* — склад заготовки; *2* — выталкиватель; *3* — печь; *4* — обжимная линия 500 *мм*; *5* — черновая линия 330 *мм*; *6* — чистовая линия 250 *мм*; *7* — моталки; *8* — транспортер; *9* — склад мотков проволоки

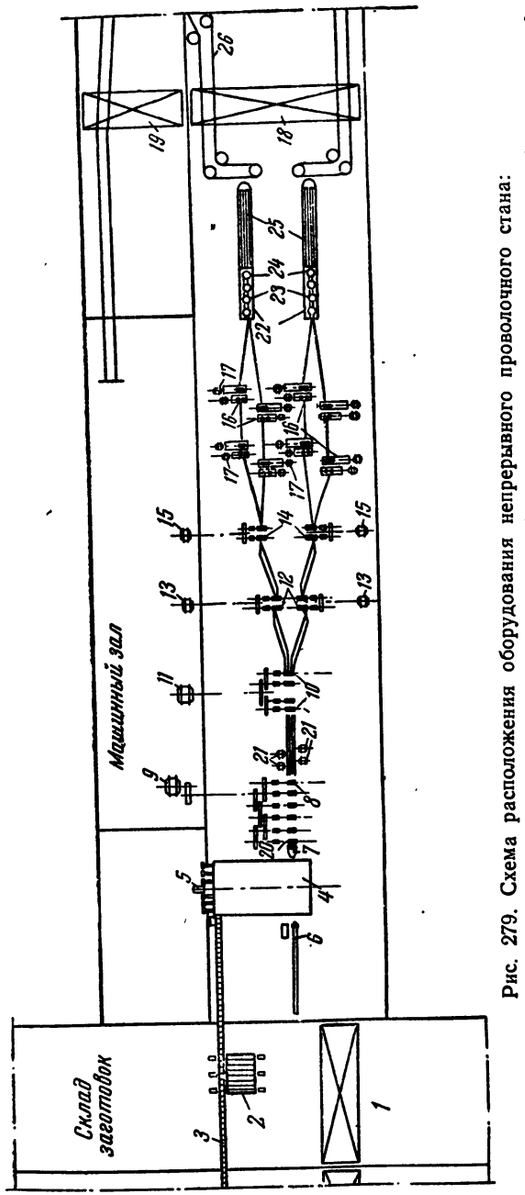



Рис. 279. Схема расположения оборудования непрерывного проволочного стана:

*1* — мостовой кран для заготовки; *2* — приемные столы; *3* — подводящий рольганг; *4* — нагревательная печь; *5* — толкатель; *6* — выталкиватель; *7* — распределитель; *8* — черновая группа клетей; *9* — привод черновой группы (I—VI клетей) в 4000 *л. с.*; *10* — первая средняя группа клетей; *11* — привод первой средней группы клетей в 4000 *л. с.*; *12* — две вторые средние группы клетей; *13* — привод второй средней группы клетей в 1000 *л. с.*; *14* — две третьи средние группы клетей; *15* — привод третьей средней группы в 1000 *л. с.*; *16* — чистовые группы клетей (16 шт.); *17* — приводы чистовых клетей по 240 *л. с.*; *18—19* — чистовые краны; *20* — ножницы; *21* — летучие ножницы; *22—23—24* — моталки (8 шт.) и пластинчатые транспортеры; *25* — шагающие транспортеры; *26* — крюковой транспортер



Стан состоит из черновой группы в 6 клетей, первой средней группы в 4 клети, двух комплектов второй и третьей средних групп по 2 клети и четырех чистовых групп по 4 клети в каждой (всего стан имеет 34 рабочие клети).

Заготовка имеет сечение 55 × 55 *мм*, длину 9500 *мм* и вес 220 *кг*. К окну выдачи из печи толкатель подает четыре заготовки, которые при помощи распределительного стола последовательно задаются в первую клеть черновой группы. После прокатки в этой группе передний конец каждой полосы обрезается летучими ножницами (установлено четверо ножниц). Затем полосы проходят первую среднюю группу из четырех клетей.

Во второй и третьей средних группах, имеющих по два комплекта клетей, прокатка идет уже в две нитки. В каждой чистовой группе прокатка идет в одну нитку. Прокатка в чистовых клетях производится на консольных валках, представляющих собой кольца, закрепляемые на валах. Это значительно сокращает время на смену валков.

За каждой чистовой группой установлены по две моталки. Мотки проволоки от моталок подаются пластинчатым транспортером, с которого попадают на крюки подвесного конвейера. Последний транспортирует их к погрузочной площадке. Производительность стана около 400 тыс. *т* проволоки в год.

## *Глава XXIII*

# ПРОИЗВОДСТВО ЛЕНТЫ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ

### 97. Сортамент и технологический процесс прокатки ленты и заготовки для сварных труб

Для производства сварных труб применяется:

1. Полосовая сталь специальных размеров, прокатываемая на специализированных сортовых станах. Обычно эта полосовая сталь в настоящее время прокатывается шириной от 30 до 305 *мм* и толщиной от 1,7 до 15,0 *мм*.

2. Лента шириной от 20 до 500 *мм* и толщиной от 1,5 до 3,5 *мм*, прокатываемая также на специализированных сортовых станах.

Технологический процесс прокатки ленты и заготовки для сварных труб почти не отличается от процесса прокатки сортового металла.

Исходным материалом для прокатки полос шириной до 125 *мм* служат квадратные заготовки сечением до 100 × 100 *мм*, для прокатки более широких размеров — плоские заготовки (слябы) толщиной 50—75 *мм*.

Для прокатки узких ленты и заготовки для сварных труб применяются станы линейного типа, полунепрерывные и непрерывные.

Увеличивающаяся потребность и повышенные требования к качеству, внешнему виду и размерам данного продукта способствовали появлению полосовых станов, в которых последняя или две последние клети выполняются как полировочные клети дуо.

имеющие автоматические обводки и аппараты для обратной подачи.

На рис. 280 представлен один из линейных станов для прокатки ленты шириной от 15 до 80 *мм*, состоящий из черновой линии в две клети трио с валками диаметром 450 *мм*, чистовой линии в шесть клетей двойное дуо с валками диаметром 280 *мм* и полировочной клети дуо с самостоятельным приводом.

Полунепрерывные станы большей производительности, применяемые для прокатки более широкой ленты, обычно состоят из непрерывной черновой группы и чистовой линии из клетей двойное дуо. Чистовые клети этих станов снабжаются оборудованием, дающим возможность вести автоматическую прокатку.

Такой стан для прокатки ленты шириной от 80 до 400 *мм* показан на рис. 281. Непрерывная черновая группа состоит из четырех клетей дуо с валками диаметром 450 *мм*, а чистовая — из четырех клетей двойное дуо в одну линию с валками диаметром 500 *мм*.

В последнее время для прокатки заготовки для сварных труб шириной до 305 *мм* и ленты шириной до 600 *мм* устанавливаются исключительно непрерывные станы. Скорость прокатки на них достигает 16 *м/сек*, металл охлаждается мало, расход энергии незначительный. Полоса получается равномерной по ширине и длине и обладает лучшими качествами и чистой поверхностью.

Примером может служить стан 300 *мм*, представленный на рис. 282.

Стан предназначен для прокатки ленты и заготовки шириной от 50 до 300 *мм* и состоит из десяти клетей с горизонтальными валками и четырех клетей с вертикальными валками. Между клетями, начиная от клети 5, установлены петлеобразователи в виде двух столов, открывающихся вниз.

Характеристика стана представлена в табл. 18.

Исходным материалом служит квадратная заготовка сечением 60, 75, 100,

*Таблица 18*

**Характеристика рабочих клетей и моторов непрерывного стана 300 *мм***

| № клети | Рабочие валки | | Двигатели | |
|---|---|---|---|---|
| | диаметр *мм* | длина бочки *мм* | мощность *л. с.* | число об/мин. |
| 1 | 480 | 500 | 175 | 420—1000 |
| 2 | 420 | 600 | 600 | 400—1000 |
| 3 | 420 | 600 | 800 | 112—280 |
| 4 | 420 | 600 | | |
| 5 | 480 | 500 | 175 | 420—1000 |
| 6 | 420 | 600 | 1000 | 190—475 |
| 7 | 420 | 600 | | |
| 8 | 480 | 500 | 175 | 420—1000 |
| 9 | 370 | 600 | 600 | 400—1000 |
| 10 | 370 | 600 | 600 | 400—1000 |
| 11 | 320 | 500 | 800 | 112—280 |
| 12 | 480 | 500 | 175 | 420—1000 |
| 13 | 320 | 500 | 1000 | 190—475 |
| 14 | 320 | 500 | 1200 | 260—650 |

Примечание. Максимальное число оборотов в последней клети 262,5 в минуту.

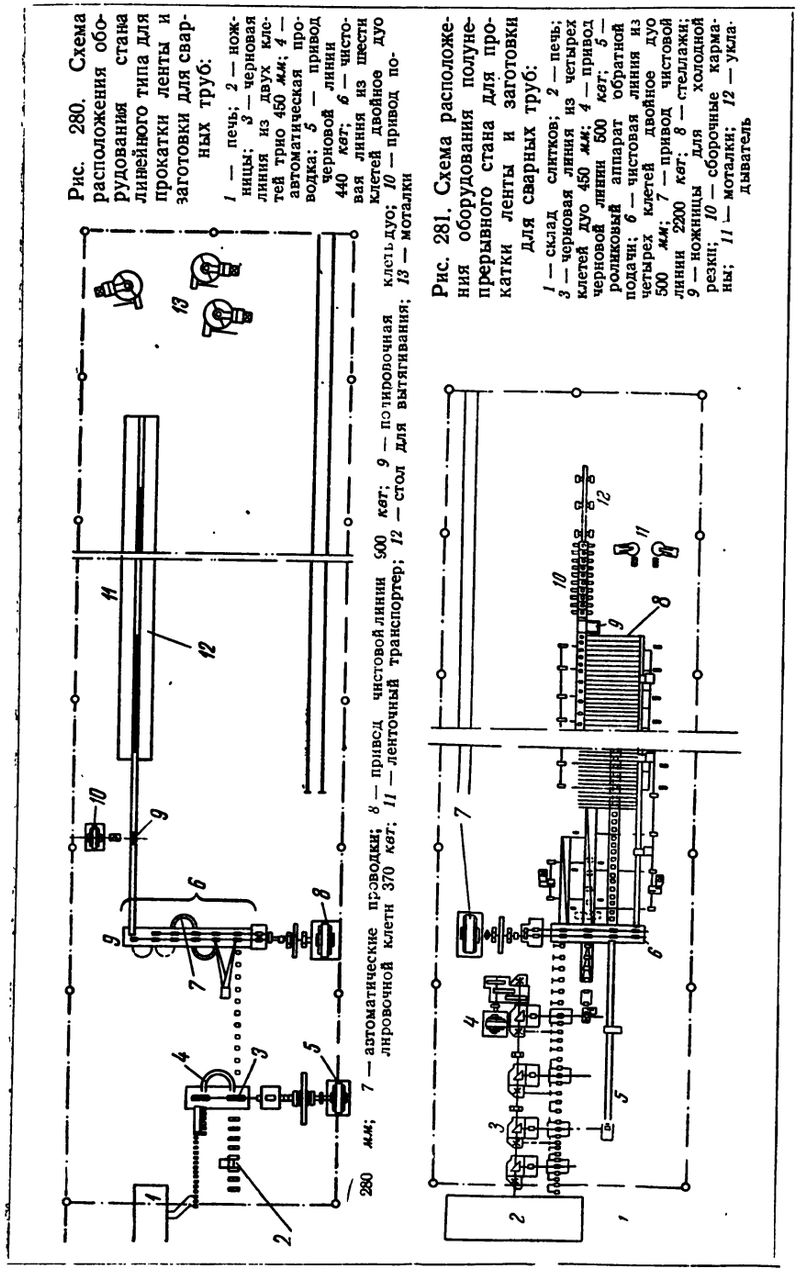


Рис. 280. Схема расположения оборудования стана линейного типа для прокатки ленты и заготовки для сварных труб:
*1* — печь; *2* — ножницы; *3* — черновая линия из двух клетей трио 450 *мм*; *4* — автоматическая проводка; *5* — привод черновой линии 440 *квт*; *6* — чистовая линия из шести клетей двойное дуо 280 *мм*; *7* — автоматические проводки; *8* — привод чистовой линии 500 *квт*; *9* — полировочная клеть дуо; *10* — привод полировочной клети 370 *квт*; *11* — ленточный транспортер; *12* — стол для вытягивания; *13* — моталки

Рис. 281. Схема расположения оборудования полунепрерывного стана для прокатки ленты и заготовки для сварных труб:
*1* — склад слитков; *2* — печь; *3* — черновая линия из четырех клетей дуо 450 *мм*; *4* — привод черновой линии 500 *квт*; *5* — роликовый аппарат обратной подачи; *6* — чистовая линия из четырех клетей двойное дуо 500 *мм*; *7* — привод чистовой линии 2200 *квт*; *8* — стеллажи; *9* — ножницы для холодной резки; *10* — сборочные кармашки; *11* — моталки; *12* — укладыватель

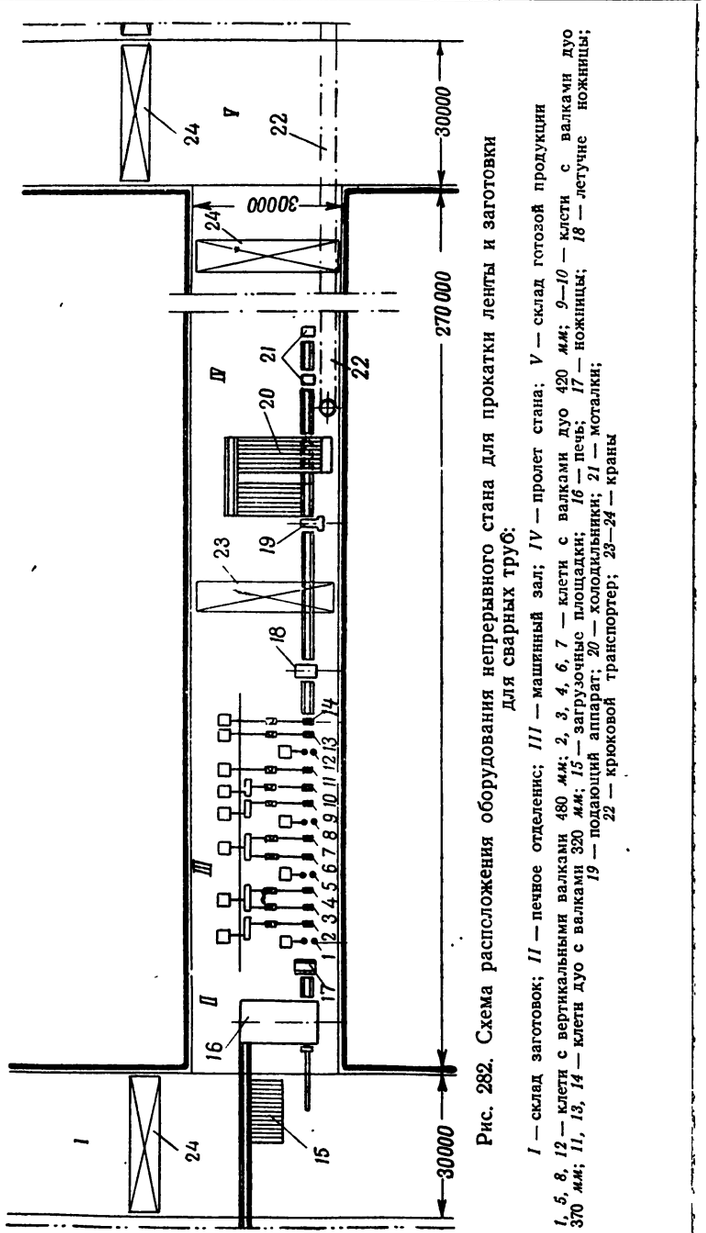



Рис. 282. Схема расположения оборудования непрерывного стана для прокатки ленты и заготовки для сварных труб:

*I* — склад заготовок; *II* — печное отделение; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — склад готовой продукции *1, 5, 8, 12* — клети с вертикальными валками 480 *мм*; *2, 3, 4, 6, 7* — клети с валками дуо 420 *мм*; *9—10* — клети с валками дуо 370 *мм*; *11, 13, 14* — клети дуо с валками 320 *мм*; *15* — загрузочные площадки; *16* — печь; *17* — ножницы; *18* — летучие ножницы; *19* — подающий аппарат; *20* — холодильники; *21* — моталки; *22* — крюковой транспортер; *23—24* — краны



125 *мм* и плоская толщиной 75 и шириной от 165 до 325 *мм*. Длина заготовки 9000 *мм* (в случае необходимости нагретая заготовка перед поступлением в первую клеть режется на части).

Резка готовых полос на требуемые длины производится летучими ножницами барабанного типа, установленными за последней клетью. После резки полосы поступают к тянущим роликам, установленным в конце рольганга за ножницами, и подаются последними на холодильник, образуя стопки или пачки. Передвижение пачек по холодильнику осуществляется при помощи специальных шлепперов. Холодильник состоит из двух секций, связанных между собой рольгангом, по которому пачки передаются с одной секции на другую. Охлажденные пачки обвязываются проволокой или тонкой полосой и краном передаются на склад.

Кроме того, предусмотрена уборка продукта в рулонах. В этом случае полоса направляется к моталкам. Охлаждение рулонов происходит на крюковом подвесном транспортере.

Производительность стана до 400 тыс. *т* готового проката в год.

## 98. Технико-экономические показатели производства сортового металла, проволоки, ленты и заготовки для сварных труб

Выход годного из заготовки определяется потерями металла на угар в нагревательных печах и во время прокатки, в отходах обрезков на ножницах или пилах и браком.

При прокатке сортового металла наибольшие потери металла в виде обрезков получаются на станах крупносортных и наименьшие — на мелкосортных и проволочных. Это объясняется тем, что крупные профили прокатываются в сравнительно коротких полосах и режутся на части заданной мерной длины. Небольшие потери получаются на станах для производства ленты и заготовки для сварных труб, что объясняется значительной не мерной длиной прокатываемых полос.

Брак получается из-за неправильной калибровки валков, неправильной конструкции и установки валковой арматуры, плохого состояния валков, неправильной температуры конца прокатки и многих других причин.

Выход годного из заготовки на современных сортовых станах колеблется в среднем от 91 до 94%, причем более высокие цифры относятся к мелкосортным станам. Выход годного из заготовки на современных проволочных станах составляет 94—95%, а на станах для прокатки ленты и заготовки для сварных труб — 95—96%. Расход заготовки на 1 *т* готового проката соответственно будет составлять:

| | |
|---|---|
| Сортовые станы . . . . . | 100,0 : (91,0 — 94,0) = 1,099 — 1,064 |
| Проволочные станы . . . . . | 100,0 : (94,0 — 95,0) = 1,064 — 1,052 |
| Станы для прокатки ленты и заготовки для сварных труб | 100,0 : (95,0 — 96,0) = 1,052 — 1,041 |

Расход энергии зависит от вида и размера профиля, размера исходной заготовки, марки стали и др. и колеблется в значительных пределах. Так, на основании практических данных, средний

расход энергии на сортовых станах на 1 *т* готового проката можно принять равным (*квт-ч*):

| | |
|---|---|
| Крупносортные станы 500—650 *мм* линейного типа . . . | 40—50 |
| Среднесортные станы 350—450 *мм* линейного типа . . . | 45—60 |
| Мелкосортные станы 250—300 *мм* линейного типа . . . | 70—80 |
| Проволочные станы линейного типа . . . . . | 90—100 |
| Полунепрерывные и непрерывные мелкосортные станы 250—300 *мм* . . . . . | 50—70 |
| Полунепрерывные и непрерывные проволочные станы . . | 70—80 |

## *Глава XXIV*

# ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

### 99. Сортамент листовой стали

Листовая сталь разделяется на три основных класса: 1) толстолистовая сталь, 2) тонколистовая сталь и 3) универсальная сталь.

К толстолистовой стали относятся листы толщиной 4—60 *мм*, шириной 600—5000 *мм* и длиной 4—12 *м*. В специальных случаях толщина и длина листов может быть значительно более указанных. В зависимости от состава толстолистовая сталь делится на следующие, наиболее характерные, категории: резервуарная, мостовая, котельная, топочная, судостроительная, броневая.

К тонколистовой стали относятся листы толщиной от 0,2 до 3,75 *мм* и шириной, обычно, от 600 до 2200 *мм*; длина может быть мерной, но тонкий лист может выпускаться и в рулонах (лента).

В связи с развитием автотракторной и авиационной промышленности сильно возросла потребность в конструкционной тонколистовой стали, изготовляемой из качественной углеродистой стали. Подавляющее большинство этих листов требует для изготовления специальной термической обработки; эти листы должны иметь хорошую поверхность и быть вязкими, так как они подвергаются глубокой вытяжке [по степени штампуемости различают листы нормальной вытяжки (НВ), глубокой вытяжки (ГВ) и весьма глубокой вытяжки (ВГВ)].

Кроме конструкционной тонколистовой стали различают следующие категории: декапированная сталь (травленая) толщиной 0,3—2,0 *мм* и шириной 710 *мм* для изделий, изготовляемых штамповкой, в частности для посуды; кровельное железо толщиной 0,38—0,82 *мм* и шириной 710 *мм* — черное и с покрытием сплавом из свинца и олова; жесть белая и черная полированная толщиной 0,2—0,48 *мм*; электротехническая, трансформаторная и динамная (различаются по содержанию кремния) толщиной 0,35—1,0 *мм* и шириной 750 и 1000 *мм*.



Универсальная, или широкополосная, сталь прокатывается на специальных станах с вертикальными валками, обрабатывающими боковые кромки, которые получаются после прокатки готовыми, в отличие от прокатки листовой стали, где боковые кромки получаются готовыми только после резки на ножницах. Ширина полосы от 200 до 1500 *мм* и толщина от 4 до 60 *мм*.

### 100. Производство толстолистовой стали

Прокатка толстых листов непосредственно из плоских слитков (весом от 0,3 до 8 *т*) применяется только на старых металлургических заводах, не имеющих заготовочных станов для прокатки слябов.

Слитки (весом от 8 до 250 *т*) применяются также при прокатке листов толщиной более 50 *мм*, в том числе брони.

Прокатка листов из слябов считается рациональной, так как при этом способе прокатки повышается качество прокатанных листов и снижаются отходы на брак.

Сечение слябов выбирается в зависимости от размера требуемых листов. С точки зрения производительности листопрокатного стана выгоднее сляб с наименьшей толщиной. Однако необходимо учитывать условия работы блуминга и слябинга на данном заводе, и поэтому размеры слябов должны отвечать оптимальным совокупным условиям работы обоих станов — листопрокатного и заготовочного.

При выборе размеров слябов необходимо учитывать отходы в виде обрезков и угара. Большей частью слябы прокатываются толщиной от 65 до 300 *мм*, шириной от 600 до 1600 *мм*, длиной от 1000 до 2000 *мм* и весом до 7200 *кг*.

Нагрев тяжелых слитков производится в камерных печах с выдвижным подом, нагрев слябов и легких слитков — в современных методических трехзонных рекуперативных печах с торцевой выдачей. Нагрев тяжелых слитков мягкой стали ведется в нагревательных колодцах, а слитков легированной стали — в колодцах с промежуточным подогревом в камерных печах с выдвижным подом.

Процесс прокатки слагается из двух стадий. В первой стадии производится вытяжка слитка или сляба в поперечном направлении для получения необходимой ширины. Для этого сляб после одного или двух пропусков поворачивается на 90° и прокатка идет поперек длины его. После получения необходимой ширины начинается вторая стадия процесса прокатки — получение необходимой длины. Для этого раскат опять поворачивается на 90° и прокатка идет по длине сляба.

На станах линейного типа часто прокатку слитка или сляба для получения необходимой ширины (разбивку, раздачу, выверстку и пр.) ведут с задачей их не по длине, а на угол (рис. 283, *а*).

При такой задаче рост давления металла на валки происходит постепенно. Задача же длинной стороной параллельно оси валков вызывает резкую внезапную нагрузку на валки, но сокращает продолжительность прокатки и уменьшает количество обрезков. Прокатка слитков и слябов в двух направлениях поперек и вдоль их длины (283, *б*) способствует получению в листах более однородных механических свойств (уменьшение анизотропности).

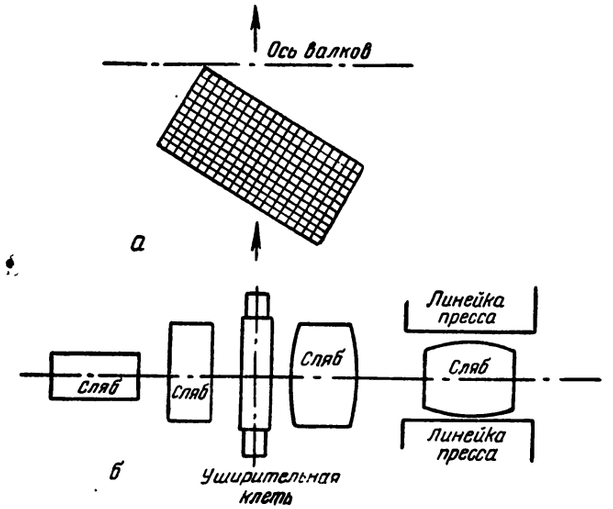



Рис. 283. Задача сляба на угол (*а*); порядок операций при прокатке в уширительной клети (*б*)

Схема обжатий при прокатке листов должна обеспечивать прокатку в минимальное число пропусков, в большинстве случаев величина обжатия за каждый отдельный пропуск ограничивается прочностью валков или допустимым давлением на вкладыши и лишь в отдельных случаях приходится учитывать ограничивающее влияние других факторов. Так, с пластичностью стали приходится считаться только в первых пропусках при прокатке листов из слитков, главным образом легированной стали. При прокатке листов на станах трио со средним тонким валком (см. рис. 97, *б*) величина обжатия в первых пропусках может быть ограничена углом захвата, величина которого обычно не превышает 14—16°. В отдельных случаях может оказаться недостаточной мощность двигателя стана. Поэтому, как правило, выбрав размеры исходного материала, величину обжатия за каждый отдельный пропуск определяют, исходя из прочности прокатных



валков, причем давление металла на валки должно быть примерно постоянным и близким к усилию, допускаемому прочностью валков. После этого производится проверка давления на вкладыши, мощности двигателя стана и условий захвата металла валками в начальных пропусках.

Для прокатки толстолистовой стали в современных цехах применяются следующие типы станов.

Одноклетьевые листопрокатные станы. Наибольшее распространение имеет одноклетьевой стан трио со средним холостым валком меньшего диаметра с длиной бочки валков от 1800 до 4000 *мм*.

Значительное распространение получили в последнее время одноклетьевые станы кварто, применяемые большей частью для прокатки толстых листов большой ширины и для прокатки брони с длиной бочки валков до 5500 *мм* и диаметром 1 100/1650 *мм*. Эти станы начали применять также для прокатки обыкновенных толстых листов, чтобы получать более точную толщину. Впрочем в этом случае клети кварто чаще применяются в качестве чистовых клетей в двухклетьевых станах.

Двухклетьевые листопрокатные станы с расположением клетей друг за другом, из которых одна является черновой, а другая — чистовой, применяются для прокатки толстых листов шириной от 1500 до 2500 *мм*. При последовательной прокатке листов в обеих клетях они более производительны, чем одноклетьевые станы.

Двухклетьевые станы дают листы лучшего качества, так как чистовая клеть работает на металле, очищенном от окалины в черновой клети. Кроме того, улучшается качество поверхности листов, увеличивается длительность службы валков и, следовательно, уменьшается число перевалок на стане.

Валки черновой и чистовой клетей у этих станов делаются одинакового диаметра, поэтому сработанные валки чистовой клети можно применять в черновой, увеличивая длительность службы валков почти вдвое.

В зависимости от конструкции рабочих клетей двухклетьевые станы (с расположением клетей одна за другой) применяются следующих типов: 1) черновая и чистовая клети трио со средним тонким валком; 2) черновая клеть дуо, чистовая трио со средним тонким валком и 3) черновая клеть дуо, чистовая кварто. Наибольшим распространением пользуется второй тип. Применение дуо-реверсивной клети в качестве черновой имеет ряд преимуществ по сравнению с клетью трио, а именно: а) отсутствуют тяжелые подъемно-качающиеся столы; б) имеется возможность применять большие углы захвата и, следовательно, большие обжатия; в) получается меньшее время пауз.

Кроме того, конструкция клети дуо более проста, чем клети трио. Недостатком же дуо-реверсивной клети является дорогой и сложный электрический привод.

В качестве чистовой клети большей частью применяется клеть трио со средним тонким валком. Клеть кварто применяется в том случае, когда при широких и тонких листах необходимо достигнуть возможно меньшей разнотолщинности по ширине листа.

На рис. 284 показан современный двухклетьевой листопрокатный стан для прокатки толстых листов, состоящий из двух клетей, установленных одна за другой на расстоянии 30 *м*. В качестве черновой клети применена дуо-реверсивная клеть с валками диаметром 850 *мм* и длиной бочки 2300 *мм* с приводом от мотора постоянного тока мощностью 2500 *л. с.*, с числом оборотов 0—40—80 в минуту. В качестве отделочной применена клеть кварто с диаметром валков 700/1100 *мм* (приводом служит мотор мощностью 5000 *л. с.* с числом оборотов 0—50—120 в минуту).

Стан предназначен для прокатки листов толщиной 6—25 *мм* и максимальной длиной до 16 000 *мм*. Исходным продуктом являются слябы толщиной 100—200 *мм*, шириной 600—1200 *мм*, длиной 1200—2200 *мм* и весом до 4000 *кг*.

Нагретые в двухрядных трехзонных методических печах слябы по рольгангу подаются к первой клети, а после прокатки в этой клети сляб по рольгангу передается в чистовую клеть.

При таком расположении стана 80% обжатия производится в черновой клети и лишь 20% в чистовой, что отвечает одинаковой загрузке этих клетей по времени. Обычно раскат из клети дуо поступает толщиной от 20 до 50 *мм* в зависимости от окончательной толщины листа.

В табл. 19 приведена схема обжатия при прокатке листов толщиной 14 *мм*, шириной 1500 *мм* и длиной 6000 *мм* из слябов толщиной 195 *мм*, шириной 650 *мм*, длиной 1200 *мм* и весом 1200 *кг*.

Большое внимание при прокатке толстых листов обращается на удаление окалины, на новых станах окалина сбивается с полосы при помощи воды, выбрасываемой под давлением до 90 *атм*.

Прокатанные листы по рольгангу направляются к роликовой правильной машине, где проходят горячую правку и затем рольгангом транспортируются к инспекторскому столу, оборудованному кантователями, для осмотра листов с обеих сторон. Охлаждение листов происходит при передвижении на рольгангах.

После осмотра листы транспортируются к ножницам, где обрезаются и разрезаются на мерные длины. Обрезка продольных кромок производится на дисковых ножницах, разрезка на мерные длины — на ножницах поперечной резки.

Готовые листы доставляются рольгангами к штабелирующим устройствам, откуда они переносятся кранами на склад готовой продукции.

Чистка листов с целью удаления поверхностных дефектов производится наждачными кругами.

Нормализация листов, если требуется, производится в конвейерной печи, установленной вне потока. Подача листов к печи и возвращение их в основной поток производятся при помощи кранов.

Полунепрерывные листопрокатные станы состоят из одной черновой клети трио со средним валком меньшего диаметра либо трио универсальной или кварто универсальной и четырех — шести непрерывных клетей кварто. На этих станах

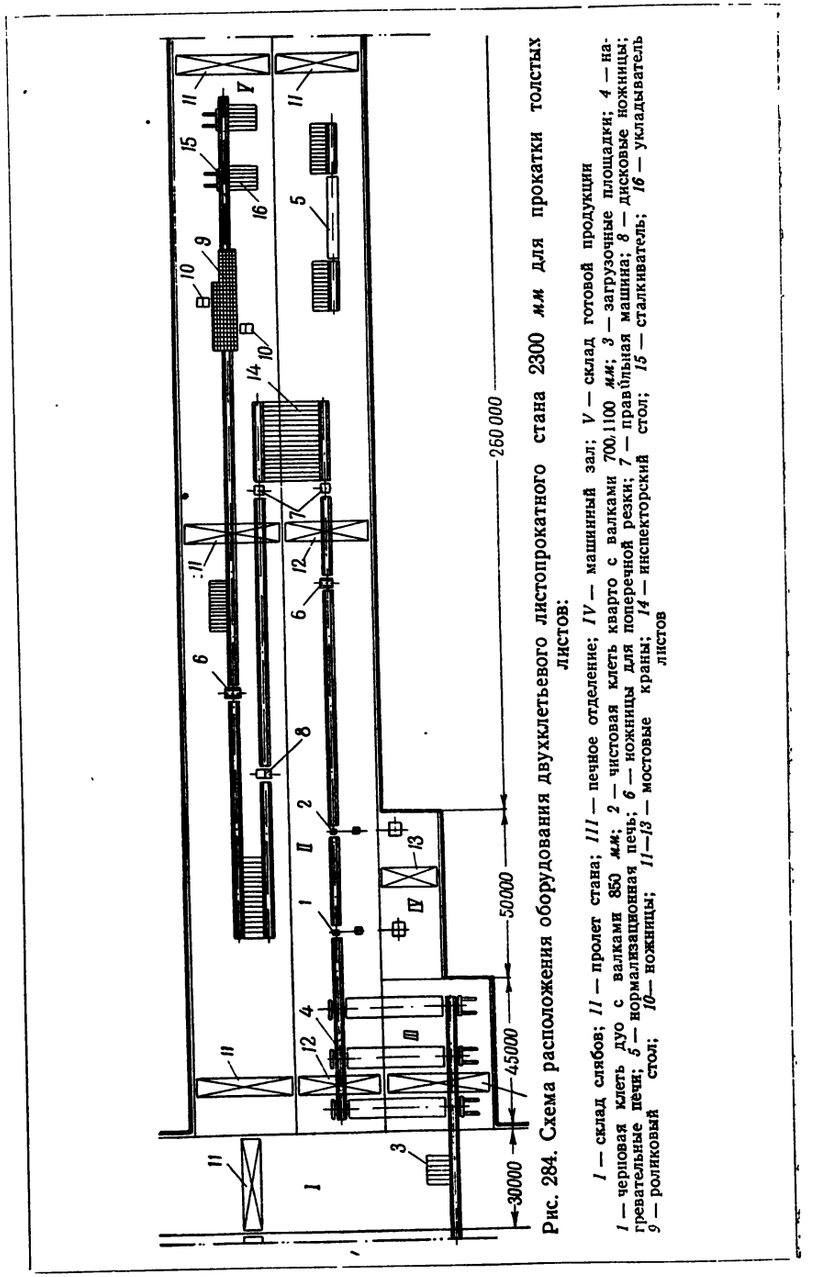



Рис. 284. Схема расположения оборудования двухклетьевого листопрокатного стана 2300 *мм* для прокатки толстых листов:

*I* — склад слябов; *II* — пролет стана; *III* — печное отделение; *IV* — машинный зал; *V* — склад готовой продукции
*1* — черновая клеть дуо с валками 850 *мм*; *2* — чистовая клеть кварто с валками 700/1100 *мм*; *3* — загрузочные площадки; *4* — нагревательные печи; *5* — нормализационная печь; *6* — ножницы для поперечной резки; *7* — правильная машина; *8* — дисковые ножницы; *9* — роликовый стол; *10* — ножницы; *11*—*13* — мостовые краны; *14* — инспекторский стол; *15* — сталкиватель; *16* — укладыватель листов

*Таблица 19*

**Схема обжатия при прокатке листов толщиной 14 *мм*, шириной 1500 *мм* и длиной 6000 *мм* из слябов толщиной 195 *мм*, шириной 650 *мм*, длиной 1200 *мм* и весом 1200 *кг***

| № пропусков | Толщина, *мм* до пропуска | Толщина, *мм* после пропуска | Абсолютное обжатие *мм* | Обжатие % | Ширина *мм* | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Черновая клеть | | | | |
| 0 | 195 | — | — | — | 650 | |
| 1 | 195 | 185 | 10 | 5,1 | 650 | Прокатка вдоль |
| 2 | 185 | 168 | 17 | 9,2 | 685 | Прокатка на угол |
| 3 | 168 | 152 | 16 | 9,5 | 720 | То же |
| 4 | 152 | 136 | 16 | 10,5 | 765 | » » |
| 5 | 136 | 122 | 14 | 10,3 | 840 | » » |
| 6 | 122 | 109 | 13 | 10,6 | 880 | » » |
| 7 | 109 | 96 | 13 | 11,9 | 990 | Прокатка поперек |
| 8 | 96 | 84 | 12 | 12,5 | 1120 | То же |
| 9 | 84 | 72 | 12 | 14,3 | 1310 | » » |
| 10 | 72 | 64 | 8 | 11,1 | 1470 | » » |
| 11 | 64 | 59 | 5 | 7,8 | 1600 | » » |
| 12 | 59 | 54 | 5 | 8,5 | 1600 | Прокатка вдоль |
| 13 | 54 | 50 | 4 | 7,4 | 1600 | То же |
| | | Чистовая клеть | | | | |
| 1 | 50 | 47 | 3 | 6,0 | 1600 | » » |
| 2 | 47 | 40 | 7 | 14,9 | 1600 | » » |
| 3 | 40 | 33,5 | 6,5 | 16,3 | 1600 | » » |
| 4 | 33,5 | 29,5 | 4,0 | 11,9 | 1600 | » » |
| 5 | 29,5 | 25,5 | 4,0 | 13,5 | 1600 | » » |
| 6 | 25,5 | 22,0 | 3,5 | 13,7 | 1600 | » » |
| 7 | 22,0 | 19,0 | 3,0 | 13,6 | 1600 | » » |
| 8 | 19,0 | 16,5 | 2,5 | 13,2 | 1600 | » » |
| 9 | 16,5 | 14,5 | 2,0 | 12,1 | 1600 | » » |
| 10 | 14,5 | 14,0 | 0,5 | 3,4 | 1600 | » » |
| 11 | 14,0 | 14,0 | 0 | 0 | 1600 | » » |

прокатывается как толстолистовая, так и тонколистовая сталь. Некоторые из них строят с расчетом использования черновой клети для самостоятельной прокатки листов большой толщины, с отдельным выходом для готового продукта.

На рис. 285 представлен полунепрерывный листопрокатный стан 3500 *мм*, состоящий из двух групп клетей: черновой и чистовой. Черновая группа имеет окалиноломатель дуо, уширительную клеть кварто и универсальную четырехвалковую реверсивную клеть. Чистовая группа состоит из окалиноломателя дуо и четырех непрерывно расположенных клетей кварто.

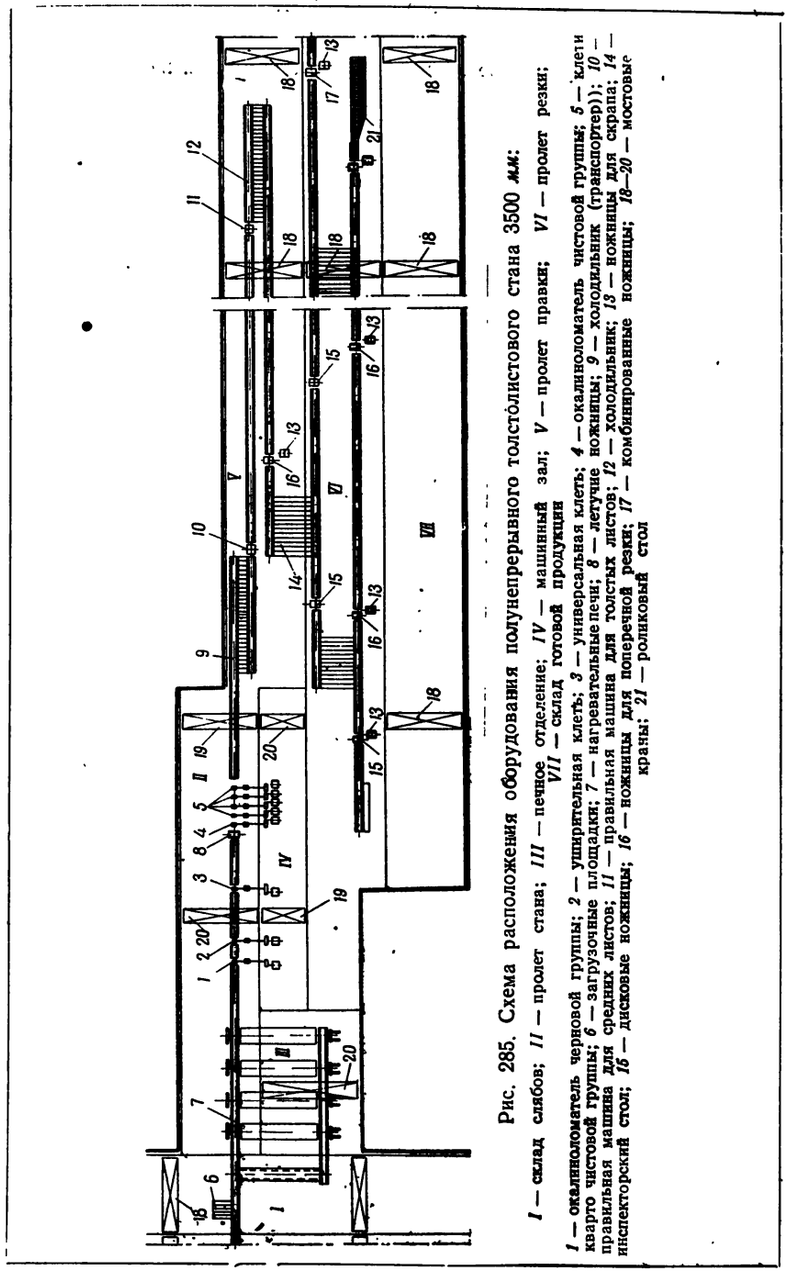


Рис. 285. Схема расположения оборудования полунепрерывного толстолистового стана 3500 *мм*:

*I* — склад слябов; *II* — пролет стана; *III* — печное отделение; *IV* — машинный зал; *V* — пролет правки; *VI* — пролет резки; *VII* — склад готовой продукции

*1* — окалиноломатель черновой группы; *2* — уширительная клеть; *3* — универсальная клеть; *4* — окалиноломатель чистовой группы; *5* — клети кварто чистовой группы; *6* — загрузочные площадки; *7* — нагревательные печи; *8* — летучие ножницы; *9* — холодильник (транспортер)); *10* — правильная машина для средних листов; *11* — правильная машина для толстых листов; *12* — холодильник; *13* — ножницы для скрапа; *14* — инспекторский стол; *15* — дисковые ножницы; *16* — ножницы для поперечной резки; *17* — комбинированные ножницы; *18—20* — мостовые краны; *21* — роликовый стол

Данные, характеризующие этот стан приведены в табл. 20.

*Таблица 20*

**Характеристика рабочих клетей и двигателей полунепрерывного листопрокатного стана 3500**

| Наименование клетей | Прокатные валки | | | Двигатели | |
|---|---|---|---|---|---|
| | диаметр валков *мм* | | длина бочки *мм* | мощность *л. с.* | число об/мин. |
| | рабочих | опорных | | | |
| Окалиноломатель дуо № 1 . | 950 | — | 1800 | 1250 | 240 |
| Уширительная кварто . . . | 950 | 1400 | 3500 | 4500 | 150 |
| Универсальная кварто . . . | 950 | 1400 | 3500 | 7000 | 0—25—50 |
| Окалиноломатель дуо № 2 . | 630 | — | 3500 | 500 | 150—600 |
| Чистовые кварто . . . . . | 770 | 1500 | 3500 | 4×5000 | 125—250 |

Исходным материалом являются слябы размерами: ширина от 600 до 1500 *мм*, толщина от 100 до 250 *мм*, длина 2000 *мм* и вес до 6000 *кг*. Готовый продукт стана — лист — имеет толщину от 4 до 50 *мм*, ширину от 600 до 3000 *мм* и длину до 16 000 *мм*.

Для нагрева слябов имеются четыре методические печи. Нагретые слябы по рольгангу поступают в окалиноломатель, далее в уширительную клеть, где прокатка ведется в поперечном направлении до заданной ширины листа. Далее лист прокатывается в универсальной клети.

Перед окалиноломателем чистовой группы установлены летучие ножницы для обрезки переднего и заднего концов тонкого листа перед входом его в чистовую группу.

После прокатки в чистовой группе листы передаются к охладительным стеллажам и затем проходят правку, обрезку передних и задних концов, резку на мерные длины, обрезку боковых кромок и другие отделочные операции.

## 101. Прокатка универсальной стали

Прокатка универсальной стали производится на универсальных станах, которые обычно имеют одну клеть трио или дуо-реверсивную, в которой полоса прокатывается от начала до конца (рис. 100).

На универсальных станах трио прокатываются обычно сравнительно узкие и тонкие полосы, а на реверсивных дуо преимущественно широкие и толстые полосы и листы.

На рис. 286 представлен универсальный стан 1200 *мм*, рабочая клеть которого имеет два горизонтальных валка диаметром 780 *мм* и длиной бочки 1200 *мм* и четыре вертикальных диаметром 630 *мм* и длиной бочки 500 *мм*. Максимальный подъем верхнего валка 500 *мм*. Число оборотов горизонтальных валков 0—50—120 в минуту. Вертикальные валки приводятся через общую шестеренную клеть и коническую передачу. Приводом для стана служит двигатель постоянного тока мощностью 4000 *л. с.* с 0—50—120 об/мин.

Исходным материалом служат слябы размерами: толщина около 200 *мм*, ширина до 1100 *мм*, длина 1700—3000 *мм* и вес до 4700 *кг*. Готовым продуктом являются широкие полосы толщиной от 6 до 50 *мм*, шириной от 300 до 1050 *мм* и длиной до 36 000 *мм*.

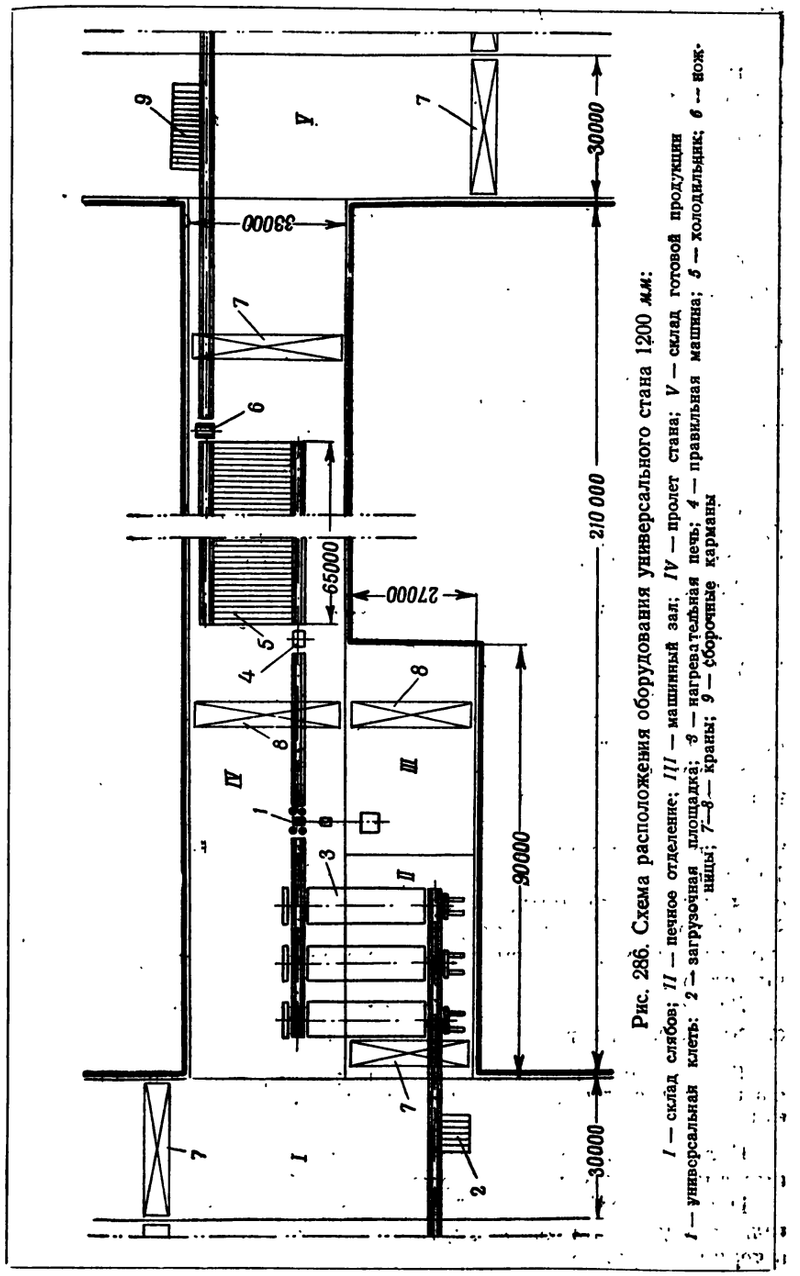



Рис. 286. Схема расположения оборудования универсального стана 1200 *мм*:

*I* — склад слябов; *II* — печное отделение; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — склад готовой продукции *1* — универсальная клеть; *2* — загрузочная площадка; *3* — нагревательная печь; *4* — правильная машина; *5* — холодильник; *6* — ножницы; *7—8* — краны; *9* — сборочные карманы

После прокатки горячая полоса проходит правку на одиннадцативалковой роликовой правильной машине, а затем поступает на холодильник. После охлаждения полоса поступает на поперечные ножницы для обрезки переднего и заднего концов полосы и разрезки на мерные длины. Разрезанные полосы сталкиваются в сборочные карманы, откуда переносятся краном на склад.

## 102. Горячая прокатка тонколистовой стали

Современным способом прокатки тонких листов является прокатка их на непрерывных станах. Способ прокатки тонких листов на обычных станах дуо с развитием непрерывной прокатки утрачивает значение и сохраняется только на старых металлургических заводах.

а) Прокатка на непрерывных станах. Технологический процесс прокатки тонколистовой и толстолистовой стали на непрерывных станах один и тот же.

В настоящее время на непрерывных станах прокатываются листы шириной от 600 до 2200 *мм* и более и толщиной большей частью от 1,25 до 12 *мм*. Исходным материалом являются исключительно слябы толщиной от 65 до 250 *мм* и длиной от 1800 до 5500 *мм*.

Нагрев слябов производится в методических рекуперативных трехзонных печах с торцевой выдачей. Сляб, нагретый до температуры прокатки, задается в окалиноломатель, где получает небольшое обжатие в 5—15%, достаточное для дробления окалины, которая затем сбивается водой под высоким давлением. Далее полоса направляется по рольгангу в первую клеть стана, называемую уширительной (перед прокаткой в этой клети сляб, когда это требуется, поворачивается на 90° (рис. 283, *б*). После пропуска через уширительную клеть раскат опять поворачивается на 90°, и в таком положении полоса пропускается через весь стан. Так как после прокатки в уширительной клети сляб получается с выпуклыми концами, которые после вторичного поворота на 90° становятся боками, то для выравнивания боковых кромок за этой клетью может располагаться пресс с линейками для сжимания сляба.

Для обжатия боковых кромок черновые группы непрерывных станов имеют клети с вертикальными валками.

Клети черновой группы установлены на таком расстоянии одна от другой, что полоса в следующую клеть поступает тогда, когда задний конец выйдет из предыдущей.

Большинство современных непрерывных тонколистовых станов имеет черновую группу из четырех клетей.

Перед чистовой группой стана имеется также окалиноломатель для удаления окалины, образовавшейся во время прокатки в черновой группе.



Чистовые клети расположены на небольшом расстоянии одна от другой, и полоса может одновременно находиться во всех клетях с образованием небольших петель, находящихся под натяжением посредством петледержателей.

При прокатке листов толщиной до 6 *мм* чистовая группа стана состоит обычно из шести клетей; при прокатке только толстых листов число клетей этой группы может быть уменьшено до четырех.

Прокатные валки клетей черновой группы обычно цилиндрической формы, валки же клетей чистовой группы имеют выпуклость 0,05—0,15 *мм*, кроме последней клети, валки которой цилиндрические или с выпуклостью, не превышающей 0,05 *мм*.

На рис. 287 показан непрерывный листовой стан 1700 *мм*. Исходным материалом являются слябы размерами: толщина 70—150 *мм*, ширина 600—1500 *мм* и длина 2000—4800 *мм*. Стан выпускает листы толщиной от 1,6 до 6 *мм* и шириной от 600 до 1500 *мм* и полосы в рулонах толщиной от 1,6 до 6 *мм* и шириной от 600 до 1500 *мм*.

Стан установлен на продолжении рольганга за слябингом. В случае прокатки более толстых листов, к которым не предъявляются строгие технические требования, горячий сляб от ножниц слябинга может быть направлен непосредственно в стан для прокатки, минуя нагревательную печь.

При прокатке тонких и качественных листов горячие слябы подаются для подготовки на склад для осмотра и зачистки, а затем вновь нагреваются в методических печах.

Стан состоит из десяти клетей кварто, расположенных последовательно двумя группами: черновая, состоящая из четырех клетей, и чистовая, состоящая из шести клетей. Перед каждой группой установлено по одному окалиноломателю. Между клетями черновой группы установлены клети с вертикальными валками. Общий вид непрерывный чистовой группы показан на рис. 288.

Для бокового обжатия кромок слябов после прокатки в уширительной клети установлен пресс давлением 1700 *т*.

В табл. 21 приведены данные, характеризующие этот стан.

В качестве примера в табл. 22 приведена схема обжатия при прокатке на непрерывном стане.

Характерно для данной схемы обжатия то, что прокатка листов ведется из сравнительно узких слябов, прокатанных на блуминге. Поэтому, чтобы получить желаемую ширину листа, в уширительной клети дается обжатие, максимально достигаемое в этих клетях.

В качестве второго примера в табл. 23 приведена схема обжатия при прокатке примерно таких же листов, но из слябов большей ширины, так как в данном случае слябы прокатываются на слябинге. В этом случае обжатие в уширительной клети составляет только 21,5%.

После выхода полосы из последней клети черновой группы на переднем конце ее часто образуются «языки». Для обрезки их установлены летучие ножницы.

Готовый продукт выдается в виде нарезанных листов или рулонов. В первом случае полоса по выходе из стана направляется большей частью на двухсторонний холодильник, на линии отводящих рольгангов которого устанавливаются правильная машина, ножницы для обрезки кромок, летучие ножницы для резки на мерные длины и устройства, укладывающие листы в штабель. В случае выпуска готового продукта в виде рулонов (толщиной 6—8 *мм*), полоса по выходе из стана направляется к моталкам, установленным на продолжении подводящего рольганга холодильника.

*Таблица 21*

**Характеристика рабочих клетей и двигателей непрерывного листопрокатного стана 1700 *мм***

| Наименование клетей | Прокатные валки | | | Двигатели | |
|---|---|---|---|---|---|
| | диаметр валков *мм* | | длина бочки валков *мм* | мощность мотора *л. с.* | число об/мин. |
| | рабочих | опорных | | | |
| Окалиноломатель № 1 . . . | 730 | — | 1700 | 1000 | 375 |
| Клеть № 1 (уширительная) | 950 | 1400 | 2450 | 3000 | 215 |
| » № 2а (вертикальная) | 800 | — | 250 | 275 | 400/800 |
| » № 2 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3000 | 600 |
| » № 3а (вертикальная) | 800 | — | 250 | 275 | 400/800 |
| » № 3 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3000 | 600 |
| » № 4а (вертикальная) | 800 | — | 250 | 275 | 400/800 |
| » № 4 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3000 | 600 |
| Окалиноломатель № 2 . . . | 630 | — | 1700 | 500 | 250/750 |
| Клеть № 5 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3500 | 175/400 |
| » № 6 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3500 | 175/400 |
| » № 7 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3500 | 175/400 |
| » № 8 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3500 | 175/400 |
| » № 9 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3500 | 175/400 |
| » № 10 . . . . . | 630 | 1250 | 1700 | 3500 | 175/400 |

*Таблица 22*

**Схема обжатия при прокатке листов толщиной 2 *мм* и шириной 1250 *мм* из слябов толщиной 125 *мм*, шириной 650 *мм* и длиной 2050 *мм***

| Наименование клетей | Размеры полосы после пропуска *мм* | | | Обжатие | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ширина | толщина | длина | абсолютное *мм* | относительное % |
| Окалиноломатель № 1 . . . | 650 | 120 | 2 130 | 5,0 | 4,0 |
| Клеть № 1 (уширительная) | 2 130 | 63 | 1 250 | 57,0 | 47,5 |
| » № 2 . . . . . | 1 250 | 40 | 3 300 | 23,0 | 36,5 |
| » № 3 . . . . . | 1 250 | 27 | 4 900 | 13,0 | 32,5 |
| » № 4 . . . . . | 1 250 | 20 | 6 650 | 7,0 | 26,0 |
| Окалиноломатель № 2 . . . | 1 250 | 19,6 | 6 750 | 0,4 | 2,0 |
| Клеть № 5 . . . . . | 1 250 | 11,6 | 11 400 | 8,0 | 41,0 |
| » № 6 . . . . . | 1 250 | 7,0 | 18 900 | 4,6 | 39,0 |
| » № 7 . . . . . | 1 250 | 4,5 | 29 500 | 2,5 | 35,7 |
| » № 8 . . . . . | 1 250 | 3,0 | 44 000 | 1,5 | 33,4 |
| » № 9 . . . . . | 1 250 | 2,3 | 57 500 | 0,7 | 23,3 |
| » № 10 . . . . . | 1 250 | 2,0 | 66 200 | 0,3 | 13,0 |



*Таблица 23*

**Схема обжатия при прокатке на непрерывном стане листов толщиной 2,5 *мм* и шириной 1300 *мм* из слябов толщиной 115 *мм*, шириной 1020 *мм* и длиной 1800 *мм***

| Наименование клетей | Размеры полосы после пропуска *мм* | | | Обжатие | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ширина | толщина | длина | абсолютное *мм* | относительное % |
| Окалиноломатель № 1 . . . | 1 020 | 110 | 1 870 | 5,0 | 3,5 |
| Клеть № 1 (уширительная) | 1 870 | 86,5 | 1 300 | 23,5 | 21,5 |
| » № 2 . . . . . | 1 300 | 66,0 | 2 400 | 20,5 | 29,0 |
| » № 3 . . . . . | 1 300 | 42,0 | 3 760 | 24,0 | 36,4 |
| » № 4 . . . . . | 1 300 | 24,5 | 6 380 | 17,5 | 34,2 |
| Окалиноломатель № 2 . . . | 1 300 | 24,0 | 6 500 | 0,5 | 2,0 |
| Клеть № 5 . . . . . | 1 300 | 14,5 | 10 800 | 9,5 | 39,0 |
| » № 6 . . . . . | 1 300 | 9,0 | 17 400 | 5,5 | 38,0 |
| » № 7 . . . . . | 1 300 | 6,0 | 26 000 | 3,0 | 37,2 |
| » № 8 . . . . . | 1 300 | 3,7 | 41 000 | 2,3 | 38,7 |
| » № 9 . . . . . | 1 300 | 2,9 | 52 500 | 0,8 | 21,0 |
| » № 10 . . . . . | 1 300 | 2,5 | 61 000 | 0,4 | 12,0 |

Для дополнительной отделки горячекатаных листов, когда она требуется, непрерывные станы имеют: 1) нормализационную печь, 2) травильную установку, 3) сушильную машину, 4) дрессировочные станы, 5) правильные машины и 6) ножницы.

б) Прокатка тонких листов на станах дуо. На старых металлургических заводах с небольшим объемом производства для горячей прокатки тонких листов применяются станы дуо с линейным расположением клетей, на которых листы прокатываются в виде отдельных карточек и пакетами (пачками).

В последние годы эти станы значительно механизированы и на них прокатывают тонкие листы всех размеров. Однако новые станы этого типа почти не устанавливаются.

Исходным материалом для этих станов является плоская заготовка — сутунка, выпускаемая обычными заготовочными станами трио или универсальными станами трио, или непрерывнозаготовочными станами. В отдельных случаях сутунка вырезается из листовой стали соответствующей толщины.

Успех получения чистой поверхности листа в сильной степени зависит от своевременного удаления окалины. При прокатке сутунки с окалиной последняя закатывается в металл и поверхность раскатанного листа имеет рябоватость. Для очистки поверхности от окалины и других загрязнений полоса во время прокатки обдувается паром или водой под давлением в 25—30, а иногда до 75 *атм*. Кроме того, предусматривается замочка в воде, вызывающая отска-

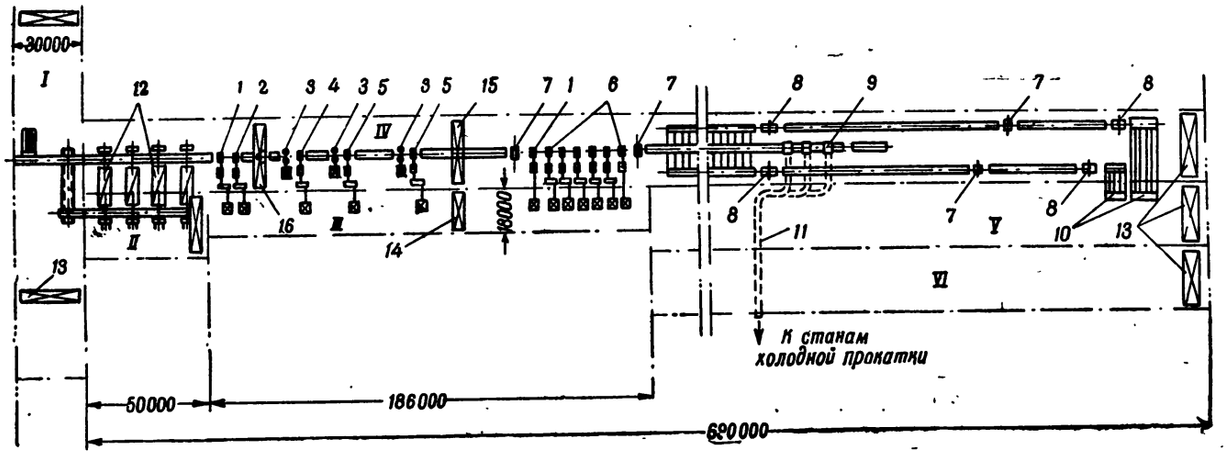



Рис. 287. Схема расположения оборудования непрерывного листопрокатного стана 1700 *мм* (конструкции НКЗМ):

*I* — склад слябов; *II* — печной пролет; *III* — машинный зал; *IV* — пролет стана; *V* — склад готовой продукции; *VI* — пролет отделки *1* — окалиноломатель; *2* — уширительная клеть; *3* — клеть с вертикальными валками; *4* — черновая клеть; *5* — промежуточные клети; *6* — клети чистовой группы; *7* — летучие ножницы; *8* — правильные машины; *9* — моталки; *10* — укладыватели листов; *11* — подземный конвейер для бунтов; *12* — печи; *13—16* — мостовые краны

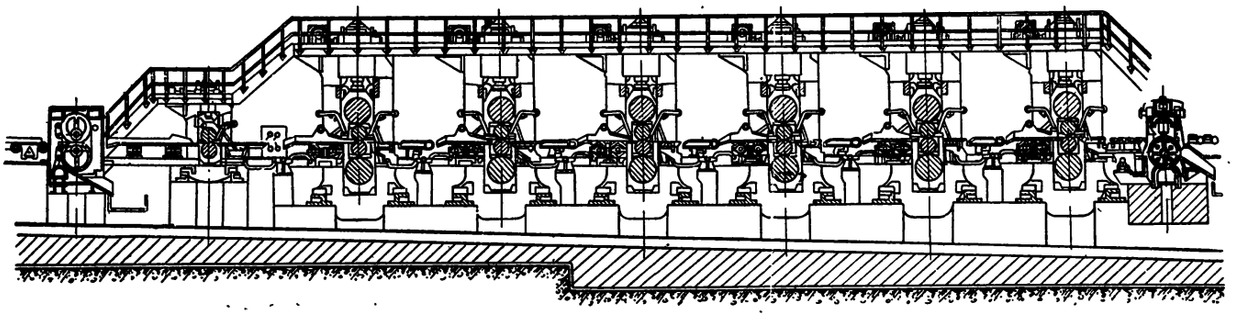


Рис. 288. Общий вид непрерывной чистовой группы широкополосного стана 1700 *мм* (конструкции НКМЗ)

кивание окалины. Устанавливаемые в непрерывнозаготовочно-сутуночном стане клети с вертикальными валками также способствуют удалению окалины.

Иногда для очистки полосы от окалины устанавливаются пневматические скребки или проволочные щетки.

На станах дуо сутунку прокатывают поперек, т. е. ее длина приблизительно равняется ширине готового листа с необрезанными кромками. Ширину и толщину сутунки определяют, исходя из веса сутунки для прокатки листа заданных размеров.

Для нагрева сутунки перед ее прокаткой в полулисты служат большей частью методические печи с толкателем и боковой выдачей, а иногда — камерные печи (сутунка ставится на ребро наклонно и подается в печь толкателем по заделанным в под брусьям). За последнее время для нагрева сутунки стали применяться методические печи с цепным конвейером или балочным шагающим подом. Печи для нагрева сутунки ставятся на расстоянии 7—8 *м* от прокатного стана. Для подачи сутунки от печи к стану устанавливают легкий транспортер.

Во избежание окисления сутунки в печи необходимо поддерживать восстановительную (защитную) атмосферу. Температура нагрева сутунки 800—850°.

Нагретая сутунка в прокатном стане раскатывается в полулист. Окалина с нагретой сутунки очищается перед станом стальными щетками и сметается мокрым веником.

Листы толщиной более 2 *мм* можно прокатывать поодиночке и в один нагрев. Листы толщиной менее 2 *мм* прокатывать поодиночке из-за быстрого охлаждения и возрастания сопротивления деформации металла затруднительно. Поэтому прокатку таких листов заканчивают пакетом, образуемым путем складывания нескольких листов и дублирования, применяя два-три нагрева.

В табл. 24 в качестве примера приведена схема прокатки тонкого листа.

Применяемые в последнее время валки из чугуна с шаровидным графитом (чугун, модифицированный магнием) позволяют значительно повысить обжатие в каждом пропуске, сократить число пропусков и повысить производительность стана.

Для нагрева полураскатов перед прокаткой в настоящее время применяются непрерывные печи с шагающим подом, либо дисковым или цепным. Температура нагрева 700—750°.

Валки тонколистовых станов при прокатке не охлаждаются водой, в результате они сильно разогреваются, становятся бочкообразными. При обточке валков заранее учитывают эту бочкообразность и возможные упругие деформации валков во время работы, причем чаще всего придают им легкую вогнутость.

В зависимости от назначения и требований, предъявляемых к тонким листам, горячая прокатка на станах дуо может доводиться до различной степени готовности листа, причем листы после горячей прокатки и обрезки могут отправляться в цех холодной прокатки, где проходят целый ряд операций.

На рис. 289 представлен механизированный листовой стан. Черновые клети трио со средним валком меньшего диаметра оборудованы с обеих сторон ка-

*Таблица 24*

**Схема прокатки тонкого листа: толщиной 0,5 *мм*, шириной 745 *мм* и длиной 1540 *мм***

| Операции | № пропусков | Размеры раската, *мм* | | Абсолютное обжатие *мм* | Относительное обжатие % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | толщина | длина | | |
| Первый нагрев | — | — | — | — | — |
| Прокатка сутунки в полураскат: | | | | | |
| а) прокатка по одной сутунке | 0 | 9,35 | 165 | — | — |
| | 1 | 7,2 | 212 | 2,15 | 23,0 |
| | 2 | 5,6 | 273 | 1,6 | 22,2 |
| | 3 | 4,4 | 351 | 1,2 | 21,4 |
| | 4 | 3,4 | 459 | 1,0 | 22,7 |
| | 5 | 2,6 | 580 | 0,8 | 23,5 |
| | 6 | 2,0 | 750 | 0,6 | 23,1 |
| б) прокатка парочкой | 7 | 3,7 | 840 | 0,3 | 7,5 |
| | 8 | 3,3 | 940 | 0,4 | 10,3 |
| | 9 | 2,9 | 1050 | 0,4 | 12,1 |
| | 10 | 2,6 | 1170 | 0,3 | 10,4 |
| | 11 | 2,3 | 1300 | 0,3 | 11,5 |
| Второй нагрев | — | — | — | — | — |
| Прокатка пакетом | 12 | 4,0 | 775 | 0,6 | 13,0 |
| | 13 | 3,4 | 925 | 0,6 | 15,0 |
| | 14 | 2,8 | 1100 | 0,6 | 17,6 |
| | 15 | 2,4 | 1310 | 0,4 | 14,3 |
| | 16 | 2,0 | 1560 | 0,4 | 16,7 |

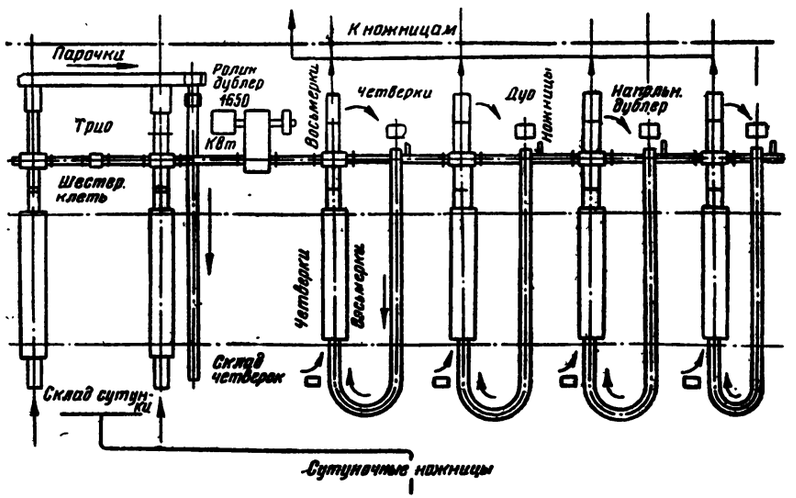



Рис. 289. Схема расположения механизированного тонколистового стана дуо

чающимися столами с движущимися цепями и боковыми линейками для выравнивания пакета и правильной задачи его в валки. В этих клетях производится черновая прокатка сутунок как поодиночке, так и парочками. По окончании прокатки в клети трио раскат, если нужно, дублируется и направляется по конвейеру в одну из двух подогревательных печей, после чего производится дальнейшая прокатка на готовый лист.

в) Прокатка кровельного железа на станах дуо может производиться двумя способами: 1) уральским и 2) южным.

Уральский способ. Нагретую сутунку сначала раскатывают в черновой клети до длины, равной 25% длины готового листа, после чего, пересыпав лист молотым древесным углем во избежание сваривания, спаривают со вторым листом и докатывают до половины длины готового красного листа. Полученные пары листов после пересыпки молотым углем и вторичного подогрева снова спаривают в пакет и докатывают уже в чистовой клети до окончательной длины.

После прокатки листы складывают в пачки и нагревают в специальной отжигательной печи в восстановительной атмосфере в течение 3—4 час. и затем пробивают под хвостовым молотом 500—700 ударами. Пачки после пробивки раздирают и перетирают каждый лист с обеих сторон мокрыми хвойными метлами, затем вновь складывают в пачки и вторично пробивают под гладильными молотами приблизительно 300 ударами. Первая пробивка листов служит для укрепления слоя окислов, который покрывает их наподобие тонкой эмали, а также для придания структуре металла мелкозернистости. Вторая пробивка листов производится для выравнивания и выпрямления их.

Несмотря на исключительно высокую стойкость листов, полученных этим способом, он в настоящее время почти не применяется, так как чрезвычайно трудоемок, а прокатка с припылом вредна для здоровья.

Южный способ. Исходным материалом служит сутунка тех же размеров по длине и ширине, но по толщине и по весу — вдвое больше, чем при уральском способе, так как из одной сутунки катается два листа.

Нагретую в печи сутунку раскатывают начерно сначала в черновой клети дуо до определенной длины, затем ее дублируют. Из таких дублированных раскатов делают пакет на 4—6 листов, снова нагревают и докатывают до надлежащей длины уже в чистовой клети. После прокатки пакеты вследствие отсутствия припыла получаются в виде слипшихся листов, которые с значительными усилиями раздирают на отдельные листы при помощи тупых ножей в форме сабель или особых раздирочных машин. Листы имеют местами светлую металлическую поверхность, не защищенную от атмосферных влияний слоем окислов.



После прокатки и раздирки листы укладываются в герметические ящики и отжигаются, а затем правятся на роликовых правильных машинах.

## 103. Холодная прокатка листовой стали

Холодная прокатка является неотъемлемой частью современных прокатных цехов по производству тонких листов.

Во многих отраслях, и в особенности в области автостроения, листы подвергаются глубокой вытяжке при холодной штамповке. По техническим условиям эти листы должны иметь матовую или блестящую поверхность, для чего необходима определенная структура металла. Крупнозернистая сталь после вытяжки дает шероховатую поверхность, которая не сглаживается при покрытии лаком. С этой точки зрения листы должны иметь мелкозернистую структуру.

С другой стороны, размер зерна влияет на условия операции вытяжки. В результате, в зависимости от назначения и способа производства того или иного изделия из листа, последний должен иметь вполне определенную структуру, что и обеспечивается применением холодной обработки в совокупности с термической обработкой.

Другой причиной необходимости холодной прокатки является то, что вести прокатку в горячем состоянии очень тонких листов невыгодно и затруднительно.

Если обжатие листа происходит вне области критической деформации, то для того чтобы получить мелкое зерно, достаточна температура отжига 650—750°, отвечающая процессу рекристаллизации металла. Надобность в перекристаллизации выше верхней критической точки в этом случае отсутствует. Исходя из этого, предпочитают вести холодную прокатку выше значений критической деформации. Кроме того по мере увеличения степени холодной деформации температура отжига для получения желательной структуры заметно понижается, и при обжатии более 30% получить мелкозернистую структуру уже нетрудно. Поэтому практически для получения необходимых качеств листа без нормализации прокатка в холодном состоянии производится суммарным обжатием не менее 25—30%. На современных станах холодной прокатки это обжатие достигает 50—60% и более, что обусловливает отжиг при наименьших температурах, являющийся наиболее экономичным, и дает повышение механических свойств металла.

Холодная прокатка листов производится двумя способами: листовым и рулонным. При первом способе прокатка листов идет поштучно — карточками. Этот способ при строительстве новых прокатных цехов применять не следует, современным способом прокатки листов является рулонный, при котором металл в горячем и холодном состоянии прокатывают в виде длинных полос и лент, сматываемых в рулоны, причем ширина листа определяется шириной рулона.

Рулоны из цеха горячей прокатки листов поступают в тра-

вильное отделение. Травление рулонов производится в непрерывных травильных агрегатах, состоящих из разматывателя, ножниц для обрезки переднего конца, чтобы можно было его присоединить к заднему концу предыдущего рулона, машины для сварки или сшивки рулонов, кислотных ванн, промывных ванн, устройства для просушки горячим воздухом, ножниц для вырезки места сшивки и сматывателя (рис. 290).

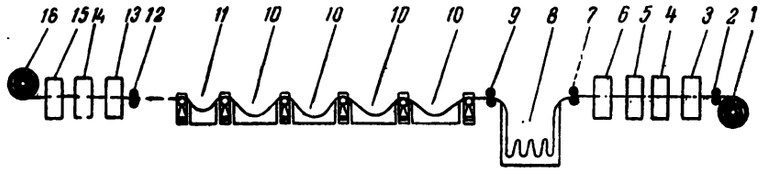



**Рис. 290. Непрерывный травильный агрегат:**

*1* — разматыватель; *2* — тянущие ролики; *3* — правильная машина; *4* — ножницы; *5* — сварочная машина; *6* — сшивная машина; *7* — тянущие ролики; *8* — петлевая яма; *9* — тянущие ролики; *10* — травильные ванны; *11* — промывочные ванны; *12* — отжимные ролики; *13* — сушильный аппарат; *14* — ножницы; *15* — дисковые ножницы; *16* — сматыватель

После травления рулоны поступают в холодную прокатку, либо на реверсивные станы, либо на непрерывные, состоящие из нескольких клетей. Прокатка на этих станах ведется со смазкой и с охлаждением валков.

При достижении известной степени наклепа металл получает промежуточный отжиг, после которого подвергается дальнейшей холодной прокатке. В зависимости от толщины готового продукта промежуточных отжигов может быть несколько или они могут отсутствовать вовсе. После завершительной холодной прокатки рулоны правятся и разрезаются на листы, а затем подвергаются отжигу «наготово».

Отжиг листов производится большей частью в колпаковых печах с защитным газом, устанавливаемых над стопой материала, подлежащего отжигу. Обычно одна колпаковая печь обслуживает несколько поддонов, расположенных на одном стенде. Так, на одном из них может производиться укладка листов, на другом — охлаждение стопы листов под муфелем при снятом колпаке, а на третьем-нагрев.

Помимо печей для отжига, в цехе холодной прокатки предусматриваются нормализационные печи (нормализации после холодной прокатки подвергаются листы, которые при обычном отжиге не получили надлежащих свойств). Нормализация листов производится без мер защиты от окисления поверхности, поэтому металл покрывается легким слоем окалины. Для удаления ее листы подвергаются травлению и затем пропускаются через моечно-сушильную машину.



Листы, отожженные в защитной атмосфере, травлению не подвергаются. После этих операций листы подвергаются окончательной обрезке, а затем поступают в дрессировку, заключающуюся в холодной прокатке, обычно за один проход, с весьма небольшой вытяжкой, в пределах 0,5—1,5%.

Дрессировка служит для предотвращения появления линий сдвига при штамповке. Эти линии бывают настолько резко выражены, что даже покраской и эмалировкой они не закрываются и остаются заметными. Для изделий, к поверхности которых предъявляются повышенные требования, листы, обнаруживающие в штамповке линии сдвига, совершенно непригодны. Установлено, что материал тем резче и быстрее дает эти линии, чем резче выражен предел текучести, и наоборот.

Окончательно отделанные листы проходят инспекторский осмотр и сортировку, после чего смазываются и передаются на склад.

Для холодной прокатки листовой стали применяются различные станы в зависимости от масштаба производства, метода работы и назначения листов. Так, на старых заводах с небольшим объемом производства, где имеет место штучная прокатка листов, применяются главным образом листовые станы кварто, а в качестве дрессировочных станов можно встретить и станы дуо. Могут также использоваться и листовые станы трио.

На современных металлургических заводах в связи с развитием непрерывного метода изготовления тонкого рулонного листа в горячем состоянии получили распространение станы, в которых дальнейшая холодная прокатка листов производится в рулонах. К числу этих станов относятся:

1. Станы кварто реверсивные, применяемые для прокатки листов всех категорий, кроме жести. Впереди и позади такого стана имеются моталки, приводимые в движение большей частью самостоятельными двигателями и сообщающие прокатываемому металлу со стороны входа и выхода постоянное сильное натяжение.

Во время первого пропуска, когда разматывается исходный рулон, работает одна моталка со стороны выхода. Во время остальных пропусков работают обе моталки — одна наматывает прокатываемый материал, а другая подает с торможением, натягивая полосу.

Производительность такого стана выше, чем стана кварто, прокатывающего листы в виде отдельных карточек.

2. Непрерывные трехклетьевые станы, применяемые для прокатки листов всех категорий, кроме жести. Длина бочки валков у этих станов достигает 2500 *мм*.

Трехклетьевой стан 1700 *мм*, показанный на рис. 291, имеет рабочие валки диаметром 480 *мм* и опорные — 1250 *мм* с длиной бочки 1700 *мм*. Каждая клеть кварто приводится от самостоятельного двигателя мощностью 2000 *л. с.*

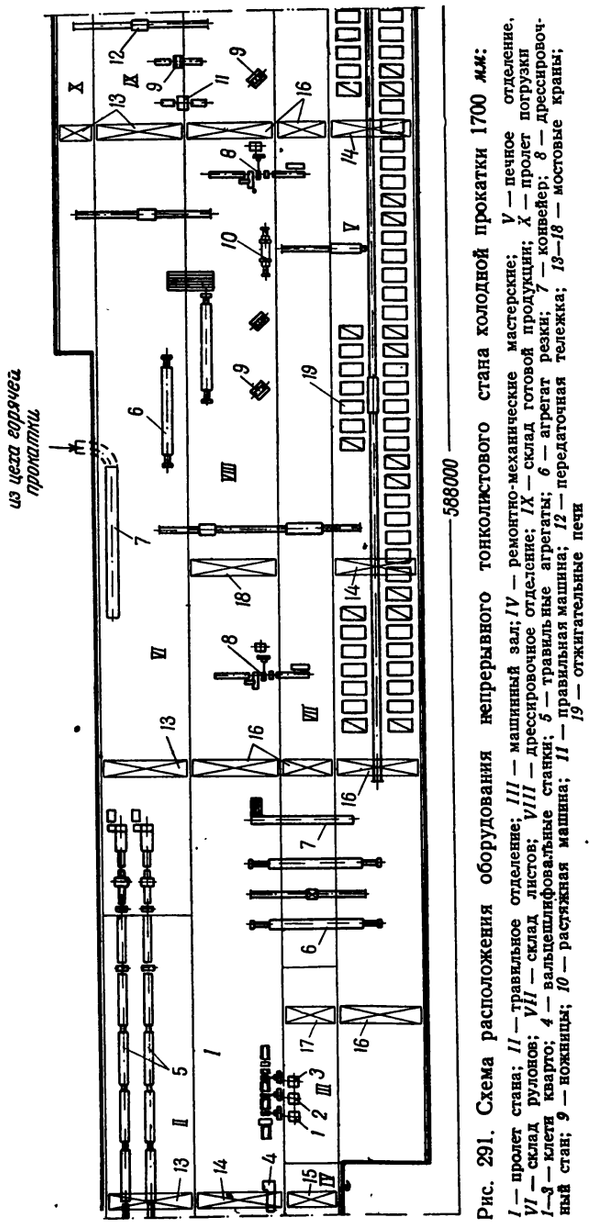



Рис. 291. Схема расположения оборудования непрерывного тонколистового стана холодной прокатки 1700 *мм*:

*I* — пролет стана; *II* — травильное отделение; *III* — машинный зал; *IV* — ремонтно-механические мастерские; *V* — печное отделение. *VI* — склад рулонов; *VII* — склад листов; *VIII* — дрессировочное отделение; *IX* — склад готовой продукции; *X* — пролет погрузки 1—3 — клети кварто; *4* — вальцешлифовальные станки; *5* — травильные агрегаты; *6* — агрегат резки; *7* — конвейер; *8* — дрессировочный стан; *9* — ножницы; *10* — растяжная машина; *11* — правильная машина; *12* — передаточная тележка; *13—18* — мостовые краны; *19* — отжигательные печи



с 400—800 об/мин. Число оборотов валков в последней клети 200—400 в минуту, что соответствует скорости прокатки 5,0—10 *м* в секунду.

Перед станом установлен разматыватель рулонов, за станом имеется моталка с отдельным приводом.

На этом стане полоса прокатывается непрерывно через все три клети в один пропуск.

Исходным материалом являются рулоны толщиной 1,6—6,0 *мм*, шириной до 1500 *мм* и весом до 15 000 *кг*.

Стан предназначен для прокатки листов толщиной 0,6—3,0 *мм* и шириной до 1500 *мм*. Общее обжатие лежит в пределах 50—60%, а обжатие по отдельным клетям в пределах 20—35%.

3. Непрерывные пятиклетьевые станы применяются большей частью для прокатки жести с наименьшей толщиной 0,2 *мм* из рулонов весом до 15 *т* при толщине исходного листа около 2 *мм*. Скорость прокатки на этих станах достигает 30 *м/сек*.

Пятиклетьевой стан 1200 *мм* показан на рис. 292. Характеристика приведена в табл. 25.

*Таблица 25*

**Характеристика рабочих клетей кварто непрерывного стана 1200 *мм* для прокатки жести**

| № клетей | Прокатные валки | | | | Двигатели | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | диаметр валков, *мм* | | длина бочки *мм* | число об/мин | мощность *л. с.* | число об/мин |
| | рабочих | опорных | | | | |
| 1 | 530 | 1350 | 1200 | 80—240 | 1500 | 80—240 |
| 2 | 530 | 1350 | 1200 | 150—360 | 3000 | 150—360 |
| 3 | 530 | 1350 | 1200 | 260—525 | 3500 | 175—350 |
| 4 | 530 | 1350 | 1200 | 400—800 | 3500 | 200—400 |
| 5 | 530 | 1350 | 1200 | 550—1070 | 4000 | 275—535 |

Прокатка жести. Жесть белая и черная полированная прокатывается толщиной от 0,2 до 0,48 *мм*. Наиболее ходовые размеры листов жести 510 × 710 *мм*.

Прокатанная жесть подвергается штамповке в холодном состоянии, поэтому металл для жести должен быть мягким и вязким, иметь равномерную толщину, высокую штампуемость и безукоризненную поверхность.

Жесть прокатывается как на тонколистовых станах дуо, так и на непрерывных станах.

На стане дуо (см. рис. 289) прокатка жести производится по следующей схеме:

1) нагрев сутунки;
2) прокатка сутунки по одной штуке;
3) прокатка сутунок парочкой;
4) дублирование;
5) нагрев полупакета из 4 шт.;
6) прокатка полупакета;

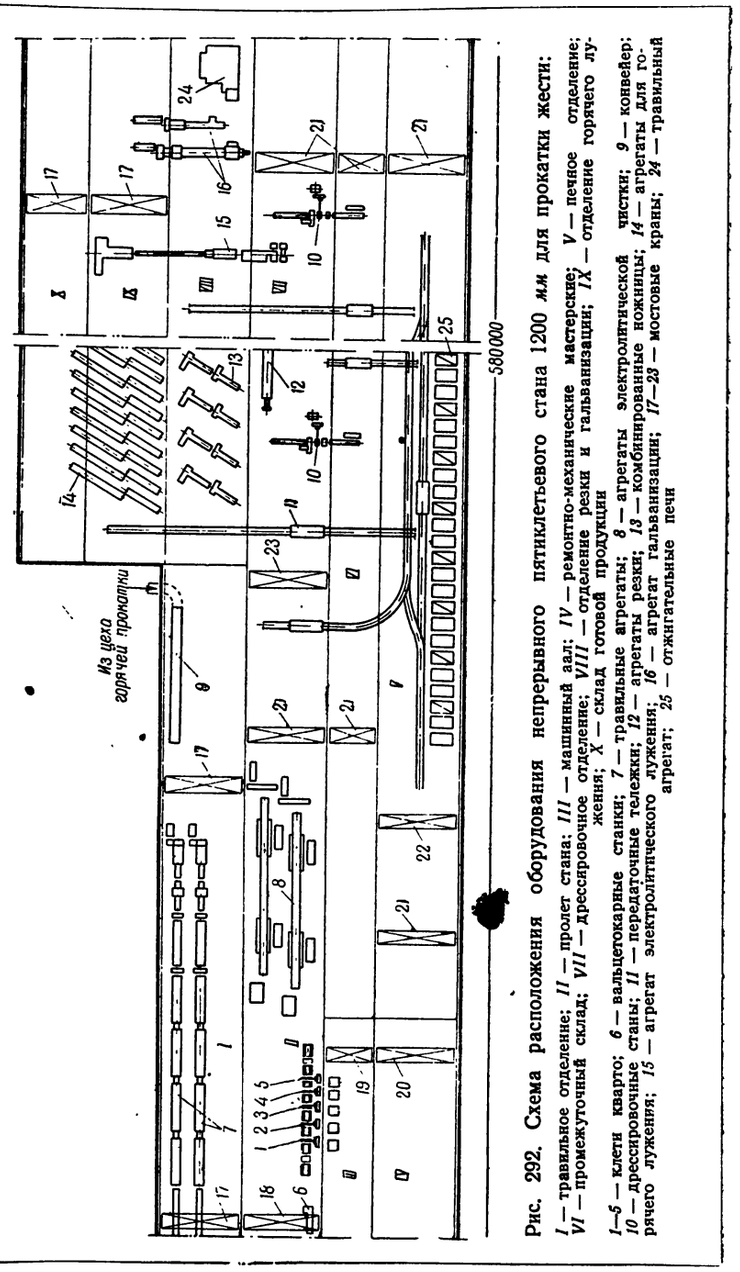



Рис. 292. Схема расположения оборудования непрерывного пятиклетьевого стана 1200 *мм* для прокатки жести:
*I* — травильное отделение; *II* — пролет стана; *III* — машинный зал; *IV* — ремонтно-механические мастерские; *V* — печное отделение; *VI* — промежуточный склад; *VII* — дрессировочное отделение; *VIII* — отделение резки и гальванизации; *IX* — отделение горячего лужения; *X* — склад готовой продукции
*1—5* — клети кварто; *6* — вальцетокарные станки; *7* — травильные агрегаты; *8* — агрегаты электролитической чистки; *9* — конвейер; *10* — дрессировочные станы; *11* — передаточные тележки; *12* — агрегаты резки; *13* — комбинированные ножницы; *14* — агрегаты для горячего лужения; *15* — агрегат электролитического лужения; *16* — агрегат гальванизации; *17—23* — мостовые краны; *24* — травильный агрегат; *25* — отжигательные печи



7) дублирование и обрезка;
8) нагрев пакета из 8 шт.;
9) прокатка пакета на окончательный размер.

После горячей прокатки жесть подвергается отжигу, травлению, дрессировке и затем лужению.

Современным способом является прокатка жести на непрерывных станах (рис. 292).

Исходным материалом для прокатки жести являются горячекатаные рулоны весом 2—5,5 *т* с шириной полосы от 500 до 1000 *мм* и толщиной от 1,5 до 4 *мм*.

Первой операцией технологического процесса производства жести является травление горячекатаных рулонов в непрерывном травильном агрегате. Рулоны после травления подаются конвейером к стану и прокатываются непрерывно через все 5 клетей в один пропуск.

Далее следует электролитическая очистка для удаления масла и грязи, непрерывный агрегат имеет две последовательно расположенные ванны; в качестве электролита используется щелочный раствор, нагретый до 90—95°, через ванны пропускается ток силой до 5000 *а*.

Следующей операцией является отжиг жести в колпаковых печах или же в непрерывных печах, производительность которых значительно выше. После отжига жесть проходит дрессировку на двухклетьевом дрессировочном стане с обжатием 2—3%.

Процесс лужения жести производится двумя способами: погружением в расплавленное олово (горячее лужение) и электролитическим. В последнем случае покрытие получается значительно более тонким и равномерным.

Электролитическое лужение производится непрерывно, что особенно удобно при работе с рулонной полосой.

Рулоны поступают на разматыватели, затем тянущими роликами лента подается через аппарат для сварки концов и дальше через травильные и промывные ванны для очистки поверхности листа от окислов и грязи. После этого лента поступает в ванны для электролитического покрытия. Затем она промывается и проходит печь, где нагревается до оплавления олова. Далее она замачивается в воде и получает надлежащий блеск, после чего пропускается через агрегат химической обработки (пассирование) и, наконец, через машину для смазки масляной эмульсией.

В качестве электролита используется раствор сернокислого олова $SnSO_4$ и серной кислоты $H_2SO_4$ в воде.

При горячем лужении жести рулоны режутся на карточки, которые направляются в ванну электролитической очистки листов от окислов и грязи, а затем в флюсовую коробку, где при помощи флюса (водный раствор $ZnCl_2$) удаляется влага, окислы и другие загрязнения, и лист нагревается до 110—120°.

После этого листы поступают в ванну с расплавленным оловом, где их продвижение осуществляется приводными роликами, которые одновременно проглаживают оловянный слой. При помощи роликов листы поднимаются и проходят слой масла, назначение которого поддерживать восстановительную атмосферу около роликов, отжимающих с листа избыток олова и способствую-

щих получению более равномерного покрытия. Далее листы подаются на конвейер и транспортируются через промыватель, очистные и полировочные ролики для снятия избытка масла.

Кроме лужения применяют и другие виды покрытия — оцинкование, лакировку и пр., назначение которых — предохранить основной металл от коррозии. После покрытия рулоны и листы осматриваются, сортируются, подвергаются дополнительной отделке и поступают на склад.

### 104. Технико-экономические показатели производства листовой стали

В табл. 26 приведены данные о среднем расходе металла на 1 *т* листов [9].

*Таблица 26*

| Наименование станов и видов прокатываемых листов | Расход слябов или сутунки *т* | Расход слябов или сутунки, пересчитанных на слитки, *т* |
|---|---|---|
| Станы для прокатки толстых листов линейного типа | | |
| резервуарная сталь | 1,18—1,20 | 1,31—1,35 |
| мостовая сталь | 1,18—1,20 | 1,40—1,42 |
| судостроительная сталь углеродистая | 1,28—1,30 | 1,50—1,60 |
| котельная сталь | 1,36—1,41 | 1,60—1,76 |
| Универсальные станы | | |
| резервуарная сталь | 1,12 | 1,27 |
| мостовая сталь | 1,18 | 1,40 |
| Станы дуо для прокатки тонких листов | | |
| резервуарная сталь | 1,20 | 1,32 |
| автотракторная сталь | 1,27 | 1,384 |
| кровельное железо | 1,26 | 1,373 |
| Непрерывные станы для прокатки тонких листов | | |
| листы углеродистые кипящей стали | 1,11 | 1,31 |
| то же, спокойной стали | 1,11 | 1,386 |
| рулоны углеродистой кипящей стали | 1,05 | 1,24 |
| то же, спокойной стали | 1,05 | 1,355 |

Расход электроэнергии при прокатке листовой стали на различных прокатных станах составляет (*квт-ч* на 1 *т* готового проката):

| | |
|---|---|
| Толстолистовые и универсальные станы | 45—60 |
| Полунепрерывные и непрерывные тонколистовые станы | 70—90 |
| Цехи холодной прокатки автолистовой стали | 100—120 |



## *Глава XXV*

# ПРОИЗВОДСТВО БАНДАЖЕЙ И КОЛЕС

Производство бандажей и колес для железнодорожного транспорта является комбинированным процессом обработки давлением, включающим ковку и прокатку.

Все принятые в железнодорожном транспорте колеса можно разделить на две группы:

1. Составные колеса. В этом случае бандаж и центр колеса изготовляются отдельно. Колеса этой группы встречаются в виде: а) колес с литым центром и б) колес с прокатанным стальным центром.

2. Цельные колеса, когда бандаж и центр составляют одно целое. Колеса этой группы встречаются в виде: а) цельнолитых и б) цельнокатаных.

Материалом для изготовления цельнокатаных колес и бандажей служит углеродистая сталь химического состава: 0,50—0,80% C; 0,60—0,90% Mn; 0,15—0,35% Si, до 0,05% S и P.

Наибольшее распространение в настоящее время получают цельнокатаные колеса.

Составные колеса имеют следующие недостатки: 1) ненадежность работы бандажа в эксплуатации; 2) сложность изготовления составного колеса, связанная с необходимостью обработки центра, обработки внутренней стороны бандажа и насадки бандажа на центр, что требует большого количества станков и значительно удорожает стоимость колес; 3) несколько больший расход металла из-за необходимости делать припуск на обработку тех частей колеса, которые в цельнокатаных колесах не обрабатываются.

Кроме того, установки для производства составных колес дают значительно меньшую производительность, чем современные установки для производства цельнокатаных колес.

Последовательность процесса изготовления цельнокатаных колес следующая:

1) резка слитков на заготовки;
2) нагрев заготовки;
3) обжим и прошивка заготовки на прессе;
4) формовка колесной заготовки на прессе;
5) прокатка на стане;
6) выгибка и калибровка колес на прессе;
7) термическая обработка колес.

Исходным материалом служат большей частью так называемые комплектные слитки или прокатанная заготовка круглого или многогранного сечения, вес которых выбран таким образом, чтобы из одного слитка можно было изготовить несколько колес.

Сначала слиток на специальных отрезных многосупортных токарных станках разрезается несколькими резцами сразу (рис. 293) на части соответственно весу прокатываемых колес.

Полученная заготовка (рис. 294, *а*) нагревается и подвергается предварительной обработке на прессах или иногда на молотах.

Эта обработка заключается в осаживании заготовки на прессе на торец, затем в прошивке отверстия (рис. 294, *б*) и в штамповке чернового колеса (рис. 294, *в*), которое поступает для дальнейшей обработки обода в специальный колесопрокатный стан.

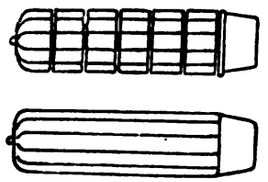


Рис. 293. Схема разрезки комплектного слитка

На рис. 295 показан колесопрокатный стан, имеющий три вертикальных валка, из которых валок *1* является коренным, валки *2* и *3* — нажимными роликами. Эти три валка служат для обработки рабочей поверхности колеса. Для обработки внутренних и торцевых поверхностей обода имеются два наклонно расположенных валка *4* и *5*. Валки *6* и *7* являются направляющими роликами. Валки *1*, *4* и *5* приводные, а остальные — холостые.

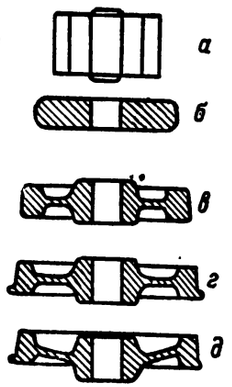



Рис. 294. Схема основных операций при производстве цельнокатаных колес:

*а* — исходная заготовка; *б* — после осаживания и прошивки на прессе; *в* — после штамповки; *г* — после прокатки; *д* — после выгибки втулки

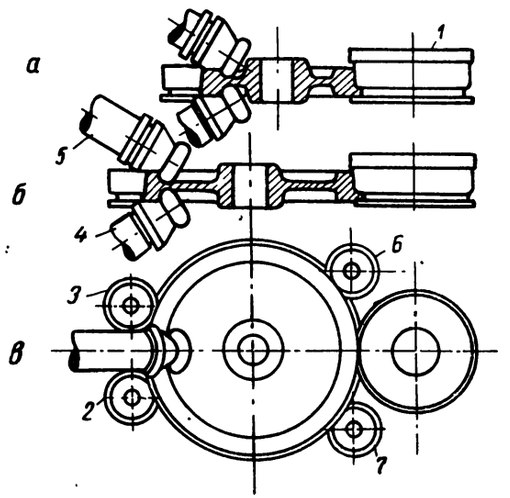



Рис. 295. Схема колесопрокатного стана

Ввиду того, что при прокатке диаметр колеса увеличивается, стационарно установлен лишь один валок *1*, а остальные имеют возможность перемещаться. На рис. 295, *а*, *б* и *в* показано положение валков стана в начале и конце прокатки.



В прокатном стане колеса получаются с прямым диском (см. рис. 294, *г*). Чтобы иметь коническую стенку (в целях большей устойчивости колеса), после прокатки колесо поступает на пресс, где производится небольшое выдавливание втулки, и колесо тогда приобретает форму, изображенную на рис. 294, *д*.

Затем колеса поступают на холодильник, где охлаждаются до 500—600° и стопками подаются краном в колодцевые печи, в которых с целью предупреждения образования флокенов выдерживаются 4—5 час. при 550°.

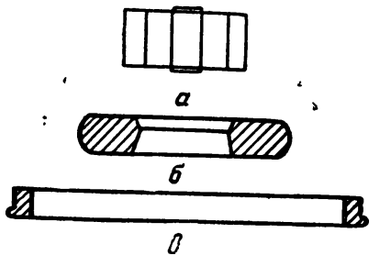



Рис. 296. Схема основных операций при производстве бандажей

Далее колеса нагреваются в закалочной печи до 830—860° и направляются на вращающиеся столы, где рабочие поверхности колес обрызгиваются водой из специальных сопел.

После закалки колеса подвергаются отпуску при 400°, охлаждению, наружному осмотру и испытанию на твердость. Затем следуют операции механической обработки колес.

При производстве бандажей в старых бандажепрокатных цехах исходным материалом обычно служат слитки развеса, соответствующего только одному бандажу. Современные бандажепрокатные цехи работают на заготовке, вырезанной комплектами из круглого или многогранного слитка (рис. 296, *а*).

Последовательность операций изготовления бандажей следующая:

1) резка слитков на заготовку (при комплектных слитках);
2) нагрев заготовки или слитков (одиночных);
3) предварительная ковка или прессовка;
4) ковка на роговом молоте или прессовка для получения необходимой разводки;
5) нагрев разводок;
6) прокатка бандажа;
7) растяжение на прессе;
8) клеймение на специальном прессе;
9) термическая обработка.

В результате третьей и четвертой операций часть слитка (рис. 296, *а*) отковывается в черновое кольцо (рис. 296, *б*), называемое разводкой. Операция 3 состоит в осаживании заготовки на торец до толщины, немного превышающей ширину бандажа, а операция 4— в последующей прошивке отверстия. Операция 6 состоит в прокатке разводки в готовый бандаж (рис. 296, *в*). На

современных установках осаживание и прошивка отверстия бандажа происходят на том же прессе и без дополнительного нагрева. Разводка сразу передается на бандаже прокатный стан.

Бандажепрокатный стан изображен на рис. 297.

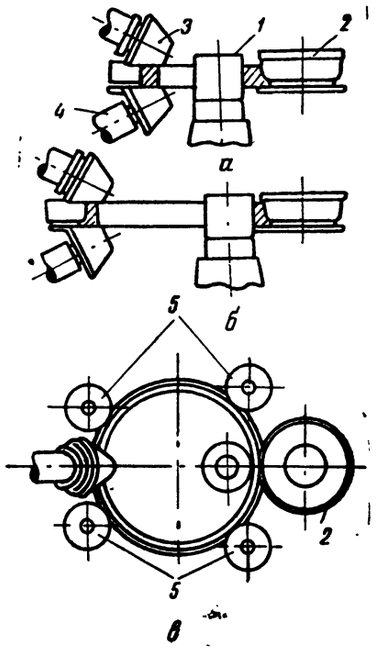



Рис. 297. Схема бандажепрокатного стана

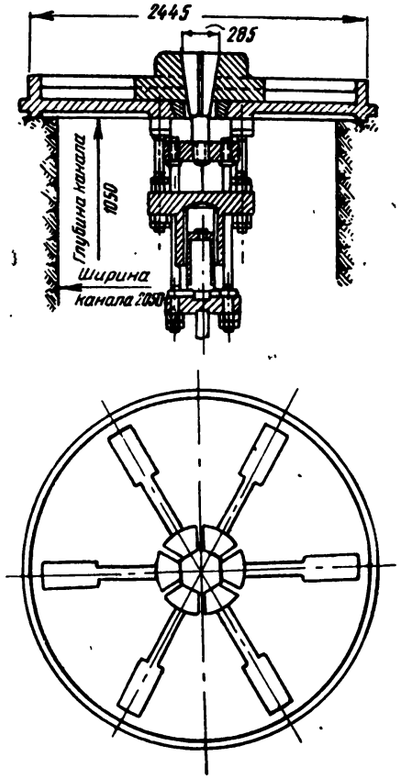



Рис. 298. Схема пресса для растяжки бандажей

Стан состоит из двух вертикальных валков *1* и *2*, двух наклонных *3* и *4* и четырех направляющих роликов *5*. Для обработки рабочей и внутренней поверхностей бандажа служат валки *1* и *2*, а для торцевых поверхностей — валки *3* и *4*. Валки *2*, *3* и *4* приводные, а валок *1* — холостой. Подшипники валка *1* опираются на плунжер гидравлического цилиндра, при помощи которого достигается уменьшение расстояния между валками *1* и *2* по мере прокатки бандажа. Валки *3* и *4* установлены на специальной каретке, которая по мере увеличения диаметра прокатываемого бандажа перемещается в горизонтальном направлении вместе с валками *3* и *4*. На рис. 297, *а*, *б* и *в* можно видеть положение валков стана в начале и в конце прокатки бандажа.

По выходе из прокатного стана бандажи подвергаются растяжке на прессе, которая делает их правильно круглыми и растягивает до нужного размера. Схема действия этого пресса показана на рис. 298. Вслед за растяжкой происходит маркировка бандажей специальным маркировочным прессом.

После этих операций бандажи термически обрабатываются закалкой с последующим отпуском. Далее они подвергаются осмотру, испытанию на твердость и сортировке, после чего поступают на склад.



## *Глава XXVI*

# ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ

### 105. Способы производства труб

Для изготовления металлических труб применяются четыре основных способа: 1) литье, 2) прокатка, 3) прессование и 4) сварка (или пайка).

Качество труб, полученных тремя последними способами, значительно выше, чем литых труб, так как при обработке давлением свойства материала труб улучшаются.

В этой главе будет рассмотрено производство бесшовных и сварных труб.

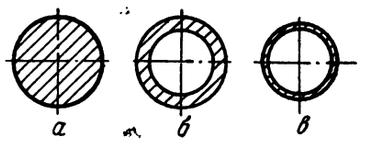



Рис. 299. Основные технологические операции при прокатке бесшовных труб

Производство бесшовных труб включает горячую прокатку толстостенной гильзы (рис. 299, *б*) из слитка или заготовки (рис. 299, *а*) и последующую горячую прокатку трубы из этой гильзы (рис. 299, *в*). Первая операция выполняется на так называемых прошивных прокатных станах (в некоторых случаях для прошивки применяется пресс). Вторая операция выполняется трубопрокатными раскатными станами различных конструкций.

Кроме указанных основных операций прокатки бесшовных труб, имеются еще дополнительные отделочные операции. Назначение этих операций — получение более ровной поверхности и более точных размеров труб, а также дальнейшее уменьшение толщины стенки и диаметра их.

При производстве сварных труб исходным материалом служит прокатанная полоса, называемая штрипсом. Процесс изготовления труб в этом случае складывается из получения заготовки в виде свернутой полосы и последующей сварки шва.

Трубы применяются как трубопроводы для передачи жидкостей и газов; для передачи тепла (жаровые, кипятильные, паро-

проводные и др.); для установок бурения (бурильные и др.). Они широко используются как конструкционный материал для изготовления машин (автотракторные, авиационные, велосипедные), деталей (шарикоподшипниковые) и т. д.

## 106. Производство бесшовных труб

К числу наиболее распространенных в настоящее время способов производства бесшовных труб относятся:

1) прошивка слитка в гильзу на валковом стане косой прокатки и прокатка гильзы в трубу на пилигримовом стане (рис. 300, *а*);

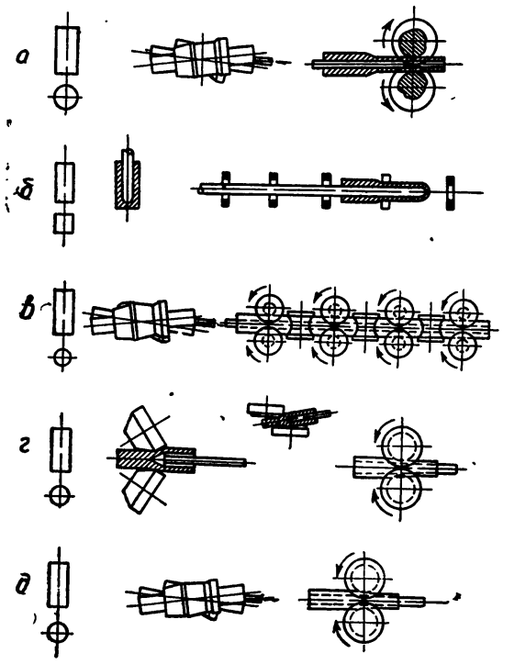



Рис. 300. Схемы основных операций при производстве бесшовных труб различными способами

2) прошивка заготовки в гильзу на валковом или дисковом станах или на стане с грибовидными валками и прокатка гильзы в трубу на автоматическом стане (рис. 300, *г* и *д*);

3) прошивка заготовки в гильзу на валковом стане косой прокатки и прокатка гильзы в трубу на непрерывном стане (рис. 300, *в*);



4) прошивка заготовки на прессе и протяжка этой заготовки в трубу на реечном стане (рис. 300, *б*).

Прокатка бесшовных труб на пилигримовых станах. Пилигримовые станы имеют большое применение, в особенности при производстве труб большого диаметра: от 57 до 605 *мм* и выше, с толщиной стенки от 3,0 до 50 *мм* и максимальной длиной до 30 *м*; наибольшее распространение получили станы для горячей прокатки труб диаметром больше 150 *мм*.

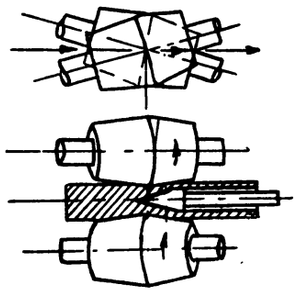


Рис. 301. Схема прошивного стана

Исходным материалом служат слитки круглого сечения с небольшой конусностью, а для труб ответственного назначения — катаная или кованая круглая заготовка.

Прошивной стан состоит из двух рабочих косо расположенных валков (рис. 301), вращающихся в одном направлении, и двух направляющих валков или линеек, служащих для удержания заготовки в определенном положении между рабочими валками. Рабочие валки изготовляются с двойной конусностью (бочка имеет форму двух усеченных конусов, сложенных вместе большими основаниями) диаметром 450—1000 *мм* и длиной бочки около 1000 *мм*. Между валками на пути движения металла устанавливается оправка, диаметр которой примерно равен диаметру получаемого отверстия.

На рис. 302 представлена общая схема установки с пилигримовыми станами. Слитки, перед прошивкой нагретые в методических печах, выдаются и поступают по рольгангу к прошивному стану.

После выхода из прошивного стана гильза имеет толстую стенку, доходящую до 25% диаметра трубы; кроме того, как на наружной, так и на внутренней поверхности гильзы остаются следы валков и оправки в виде винтовых линий.

Для того, чтобы получить тонкостенную трубу достаточной длины и с гладкой поверхностью, гильзы подвергаются дальнейшей обработке на пилигримовых станах.

Рис. 303 дает представление о работе такого стана.

Положение *IV* показывает первый период прокатки, во время которого гильза при помощи подающего аппарата подается вперед и одновременно поворачивается на 90° вокруг своей оси. Положение *I* показывает второй период, когда валки захватывают участок гильзы, надетой на дорн (оправку). После этого начинается третий период — раскатка захваченного металла, которая производится в основном рабочим конусом (положение *II*); окончательное же выравнивание неровностей и сглаживание поверхности трубы производятся полирующей частью калибра (положение *III*). Начиная с мо-

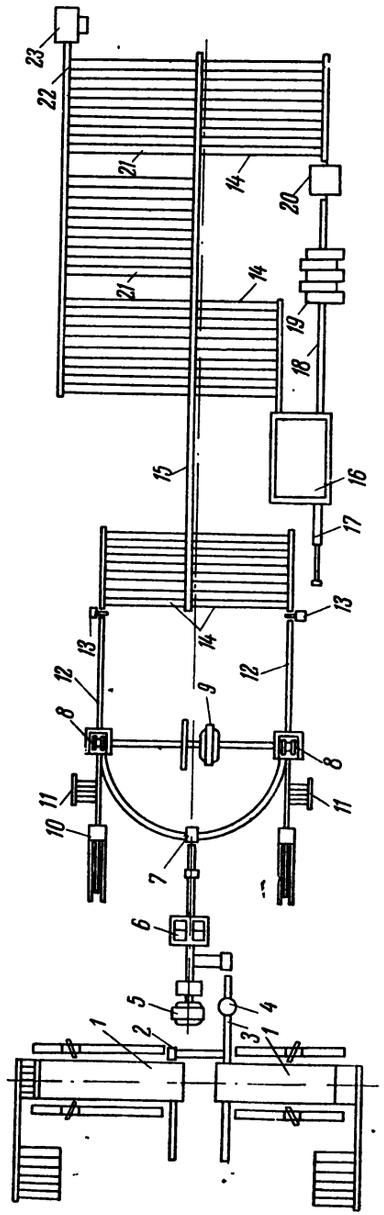


Рис. 302. Схема расположения оборудования при прокатке труб на пилигримовых станах:

*1* — нагревательные методические печи; *2* — тележка для слитков; *3* — рольганг; *4* — поворотный круг; *5* — привод прошивного стана; *6* — прошивной стан; *7* — тележка для гильз; *8* — пильгерные станы; *9* — привод пильгерного стана; *10* — подающие аппараты; *11* — ванны для охлаждения дорнов; *12* — выводной желоб; *13* — салазковые пилы; *14* — стеллажи; *15* — отводящий рольганг; *16* — подогревательная печь; *17* — выталкиватель; *18* — рольганг; *19* — пятиклетьевой калибровочный стан; *20* — стан горячей правки; *21* — инспекционные стеллажи; *22* — отводящий рольганг; *23* — правильный пресс



мента захвата до конца прокатки (положение *III*) гильза и дорн двигаются назад. При дальнейшем вращении валков труба переходит в выпускную часть калибра (положение *IV*) и весь цикл начинается сначала и повторяется до тех пор, пока вся гильза не будет прокатана в трубу.

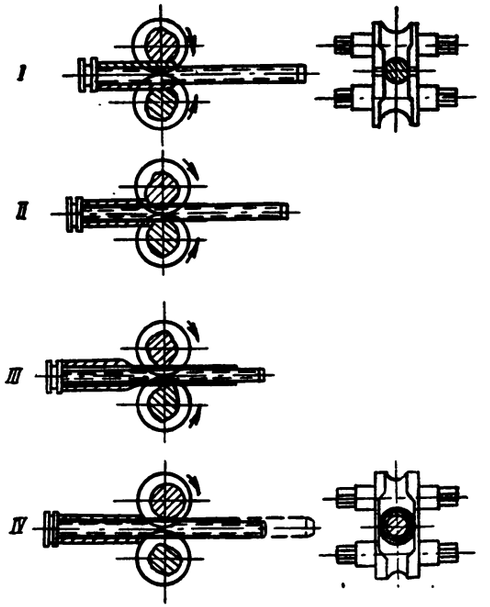


Рис. 303. Схема прокатки труб на пилигримовом стане:

*I* — начало прокатки; *II* — прокатка; *III* — полировка; *IV* — последующая подача с поворотом

Трубы, прокатанные на пилигримовом стане, отличаются гладкой внутренней поверхностью, вследствие чего часто употребляются в том виде, в каком выходят из стана.

В случае же, если к трубам предъявляются более повышенные требования в отношении точности диаметра и толщины стенки, то трубы, после обрезки на пилах *13* нераскатанной части гильзы и переднего конца, подаются в подогревательную печь *16*. Труба, подогретая в этой печи, поступает на обкатной и затем калибровочный стан *19* (см. рис. 302).

В современных установках в качестве калибровочного стана вместо одноклетьевого дуо-реверсивного стана обычно устанавливается пятиклетьевой непрерывный стан. После прокатки в калибровочном стане труба подвергается правке в горячем состоянии на

правильных машинах *20* с гиперболоидальными валками и поступает на стеллаж *14* для охлаждения. После этого трубы проходят отделочные операции.

Прокатка бесшовных труб на автоматических станах. Автоматические станы являются наиболее распространенными станами для прокатки бесшовных труб. На этих станах прокатываются трубы диаметром от 57 до 400 *мм* с толщиной стенки от 3 до 30 *мм*.

Исходным материалом служит катаная круглая заготовка высокого качества, диаметр которой близок к наружному диаметру готовой трубы.

Для прошивки заготовки в гильзу применяются три типа прошивных станов: с грибовидными, дисковыми и бочкообразными валками.

Современные прошивные станы обычно имеют бочкообразные валки, бочка которых имеет форму двух усеченных конусов, сложенных вместе большими основаниями (рис. 304).

Процесс прокатки в этих станах аналогичен прокатке в валках прошивного стана в установках с периодическим станом. Прокатываемый металл также имеет вращательное и поступательное движение. Поступательное движение происходит благодаря тому, что оси валков находятся не в одной плоскости.

С целью обеспечения наиболее рационального наклона в зависимости от типа прокатываемых труб, угол наклона валков может изменяться. На этих станах можно изготовлять трубы с большим диапазоном диаметров.

По принципу работы прошивной стан с грибовидными валками похож на стан с бочкообразными валками (рис. 305). Оси валков этого стана наклонены в вертикальной плоскости под углом 7,5° к оси прокатки, а в горизонтальной плоскости составляют угол 60°. Вращаются оба валка в одном направлении.

Дисковые станы применяются для изготовления гильз для труб диаметром до 140 *мм*. Для прошивки заготовки в гильзу имеется два вращающихся в одну сторону диска, оси которых взаимно смещены (рис. 306). Ось прокатки в вертикальной плоскости расположена ниже осей валков.

Дальнейшая прокатка гильзы производится на автоматическом стане, представляющем собой обычный нереверсивный стан дуо (рис. 307), валки *1* которого имеют ряд круглых калибров. В калибр вставляется оправка, удерживаемая на месте стержнем, неподвижно укрепленном в упорной станине. Просвет, образуемый калибром и оправкой, определяет толщину стенки прокатываемой трубы. Кроме получения окончательной толщины стенки в автоматическом стане уменьшается наружный диаметр трубы.



Труба, пройдя через валки *1* стана, оказывается на стержне с задней стороны стана. Передача трубы на переднюю сторону осуществляется парой роликов *2* обратной подачи, из которых нижний, помимо вращения, может перемещаться вверх и вниз.

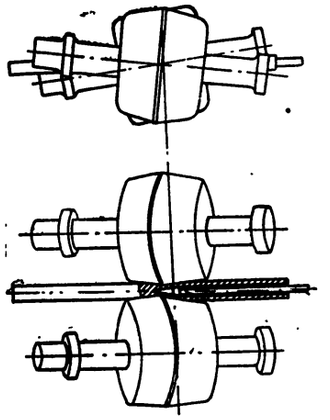


Рис. 304. Форма валков прошивного стана

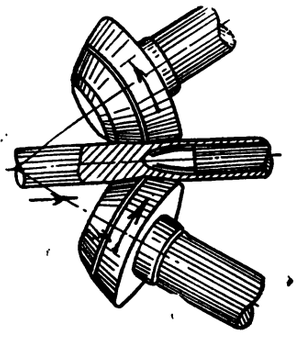


Рис. 305. Форма валков грибовидного стана

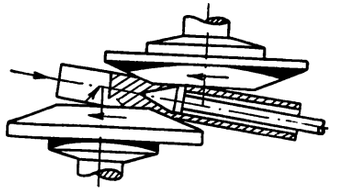


Рис. 306. Форма валков дискового стана

При передаче трубы на переднюю сторону нижний ролик поднимается и прижимается к трубе, последняя силой трения стягивается со стержня и передается на переднюю сторону стана. Верхний рабочий валок стана в это время поднимается, чтобы пропустить трубу, а после передачи ее на переднюю сторону вновь опускается в рабочее положение. Подъем рабочего валка и сближение роликов обратной подачи полностью автоматизированы.

Прокатка труб на установках с автоматическим станом производится в следующем порядке (рис. 308). Заготовка, нагретая до 1250—1280°, выдается из печи и поступает в приемный жолоб прошивного стана. Прошитая гильза поступает к автоматическому стану.

При производстве труб больших размеров устанавливаются два прошивных стана. В этом случае гильза, прошитая в первом стане, поступает на второй и затем подается в подогревательную печь или непосредственно к автоматическому стану.

Прокатка трубы в автоматическом стане производится обычно за два пропуска с поворотом трубы после каждого пропуска на 90°, причем оправка меняется после каждого пропуска.

Для придания круглой формы, уменьшения разностенности и полировки наружной и внутренней поверхностей труба после прокатки в автоматическом стане по рольгангам поступает к об-

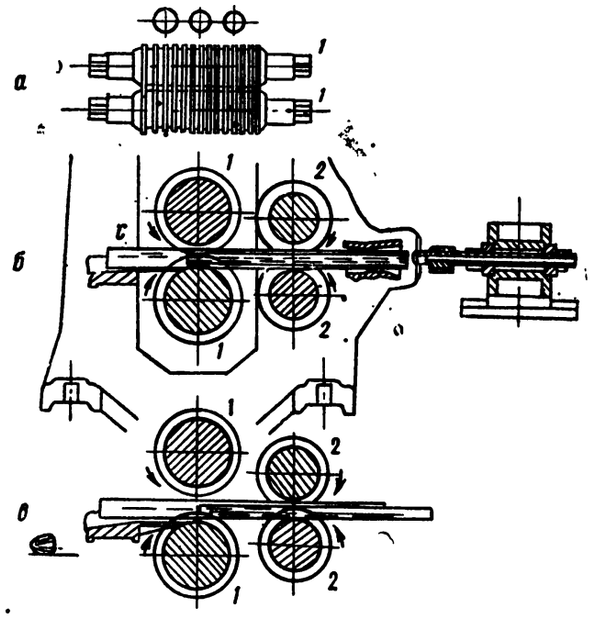



Рис. 307. Прокатка трубы в автоматическом стане:

*а* — валки; *б* — период прокатки; *в* — период возврата трубы на переднюю сторону стана; *1* — валки; *2* — подающие ролики

катным машинам, по своему устройству напоминающим прошивной стан (рис. 309).

Между бочкообразными валками этой машины вставляется оправка на стержне; труба, продвигаясь вперед и одновременно вращаясь с большой скоростью вместе с оправкой, обрабатывается по наружной и внутренней поверхностям.

В результате устраняется овальность и разностенность трубы, улучшается ее внутренняя и наружная поверхности при одновременном небольшом увеличении диаметра трубы.

Для получения окончательных размеров по диаметру труба поступает в калибровочный стан, состоящий из пяти, семи или двенадцати клетей дуо, расположенных непрерывно.

Оси валков в каждой клети попеременно расположены под углом 45° к горизонту, так что оси валков двух соседних клетей образуют между собой угол в 90°. В последней клети калибр имеет форму правильного круга, в предыдущих же клетях калибры делаются с небольшим развалом.

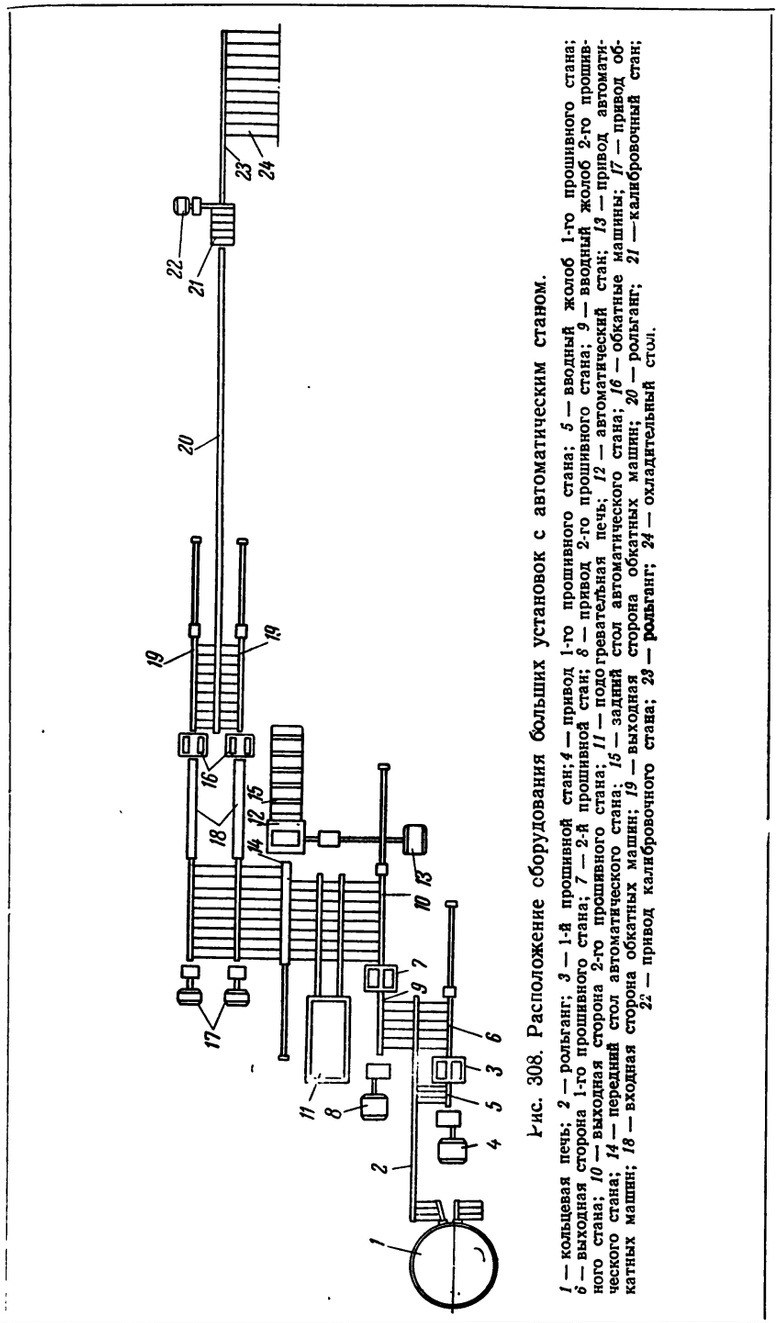



Рис. 308. Расположение оборудования больших установок с автоматическим станом.

*1* — кольцевая печь; *2* — рольганг; *3* — 1-й прошивной стан; *4* — привод 1-го прошивного стана; *5* — вводный желоб 1-го прошивного стана; *6* — выходная сторона 1-го прошивного стана; *7* — 2-й прошивной стан; *8* — привод 2-го прошивного стана; *9* — вводный желоб 2-го прошивного стана; *10* — выходная сторона 2-го прошивного стана; *11* — подогревательная печь; *12* — автоматический стан; *13* — привод автоматического стана; *14* — передний стол автоматического стана; *15* — задний стол автоматического стана; *16* — обкатные машины; *17* — привод обкатных машин; *18* — входная сторона обкатных машин; *19* — выходная сторона обкатных машин; *20* — рольганг; *21* — калибровочный стан; *22* — привод калибровочного стана; *23* — рольганг; *24* — охладительный стол.

В калибровочном стане диаметр трубы уменьшается на несколько миллиметров, а длина соответственно увеличивается.

Дальнейшая обработка заключается в правке труб в холодном состоянии, в обрезке концов и холодной отделке, после чего трубы подвергаются окончательному осмотру и испытаниям.

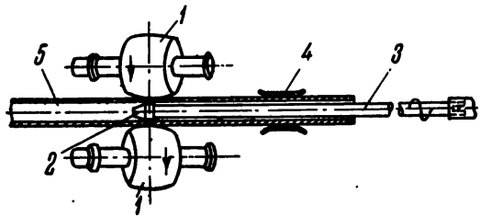



Рис. 309. Схема обкатного стана:
*1* — валки; *2* — оправка; *3* — стержень; *4* — проводка; *5* — труба

Если требуются трубы диаметром менее 60 *мм*, то прокатанные трубы подвергаются дополнительной горячей прокатке на специальных станах, называемых редукционными (рис. 310), представляющих собой непрерывные станы в 10—32 клетей. Для равномерной обработки металла по окружности трубы валки в клетях расположены горизонтально и вертикально или наклонно под углом в 45° то в одну, то в другую сторону. Прокатка трубы производится без оправки, при этом достигается удлинение трубы и уменьшение ее диаметра на 10—60%, причем толщина стенки трубы в зависимости от имеющихся условий может увеличиваться, уменьшаться или оставаться неизменной.

Прокатка бесшовных труб на непрерывных станах. На этих станах прокатываются трубы диаметром от 57 до 110 *мм* из катаной заготовки диаметром 90—140 *мм*. Прошивка заготовки производится на стане косой прокатки обычного типа.

Для прокатки гильзы в трубу применяются два типа станов:

1) непрерывный стан старого типа, состоящий из семи пар валков, из которых четыре горизонтальных и три вертикальных; все валки приводятся от одного двигателя через сложную систему шестеренных передач (рис. 311);

2) непрерывный стан нового типа, состоящий из девяти клетей, причем оси валков этих клетей расположены под различными углами одна к другой. Привод валков каждой клети осуществляется от индивидуального двигателя, что обеспечивает более простую настройку и регулировку стана. На этих станах могут прокатываться трубы с тонкой стенкой — до 2 *мм*.



На рис. 312 показан новый непрерывный стан с индивидуальным приводом для каждой клети. Круглая катаная заготовка, нагретая в печи с вращающимся подом до 1200—1250°, поступает на центровку и затем подается на прошивку в обычном прошивном стане. Полученная гильза поступает в приемный жолоб непрерывного стана, где надевается на оправку и затем подается в непрерывный стан. После прокатки на непрерывном стане и извлечения оправки труба подогревается и прокатывается на редукционном стане без натяжения или с натяжением полосы между клетями, в зависимости от требуемых конечных размеров трубы.

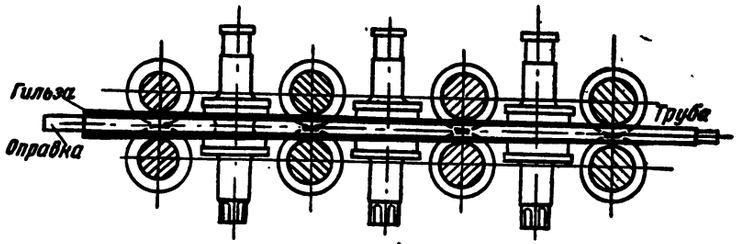



Рис. 310. Схема прокатки труб на редукционном стане

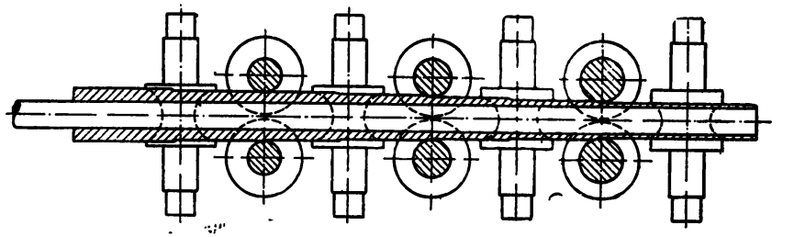


Рис. 311. Непрерывный трубопрокатный стан

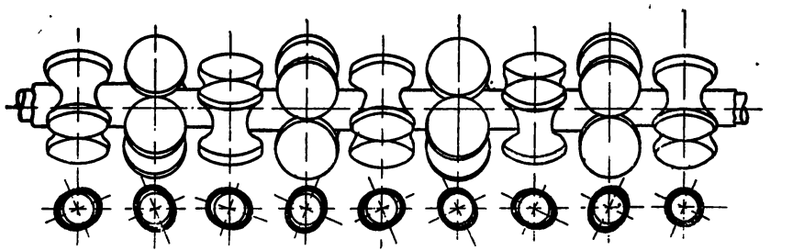


Рис. 312. Непрерывный трубопрокатный стан нового типа

С целью расширения сортамента непрерывных станов на некоторых из них устанавливаются два редукционных стана — один работающий с натяжением и один — без натяжения.

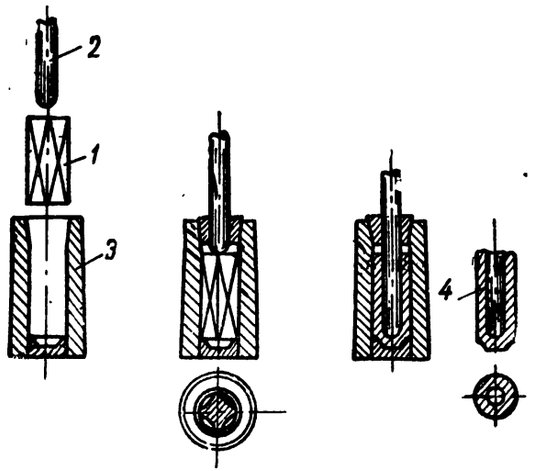



Рис. 313. Схема прошивки квадратной заготовки на прессе:

*1* — исходный материал; *2* — пуансон; *3* — матрица: *4* — прошитый стакан

Производство бесшовных труб на реечном стане отличается тем, что на этом стане трубы не прокатываются, а протягиваются.

Исходным материалом служит квадратная катаная заготовка, нарезанная на короткие куски. После нагрева в методической печи она поступает на гидравлический пресс, где прошивается в гильзу с донышком или стакан (рис. 313), который поступает на реечный стан (рис. 314).

В стакан вводится оправка, и он протягивается сквозь ряд колец с уменьшающимися диаметрами отверстий, причем толщина стенки трубы постепенно уменьшается.

После протяжки на реечном стане труба вместе с оправкой поступает на обкатную машину, в которой диаметр трубы несколько увеличивается, что облегчает вытаскивание из нее оправки.

Новые реечные станы в последнее время не устанавливаются, так как этот метод производства труб считается устаревшим.

В целях получения труб более высокого качества, а также малых диаметров и толщины стенки, трубы горячей прокатки часто подвергаются *холодному волочению на цепных станах или*



*холодной прокатке* на специальных станах, имеющих подвижную рабочую клеть и работающих по принципу пилигримовых станов (рис. 315). Оба эти способа будут рассмотрены и сопоставлены в следующей главе.

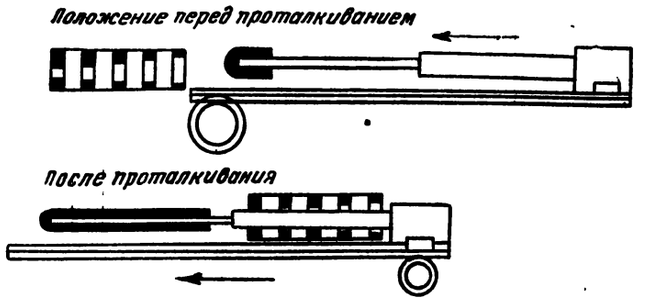



Рис. 314. Реечный стан

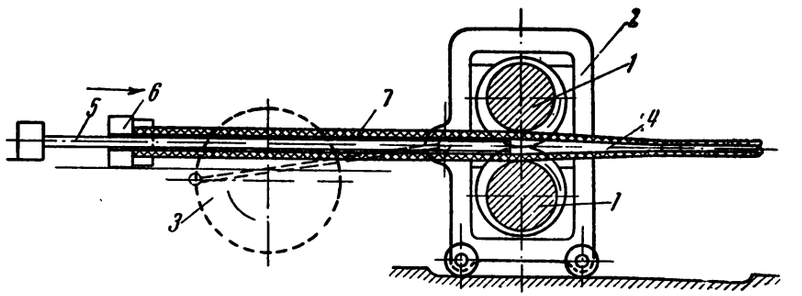



Рис. 315. Схема стана для холодной прокатки труб с подвижной клетью.

*1* — валки; *2* — станина; *3* — кривошипно-шатунная передача; *4* — коническая оправка; *5* — штанга оправки; *6* — подвижной упор трубы; *7* — труба (заготовка)

## 107. Производство сварных труб

Исходным материалом при производстве сварных труб служит прокатанная полоса, называемая штрипсом, ширина которой равна длине окружности сечения трубы. Процесс изготовления труб состоит из операции изготовления заготовки в виде свернутой полосы и последующей операции изготовления трубы путем сварки шва. Существуют различные способы производства сварных труб.

При производстве труб печной сваркой внакладку штрипсы нагреваются в заготовочной печи до 900—1000° и на волочильном заготовочном стане свертываются в заго-

товку в виде трубы. Процесс сворачивания штрипса происходит в воронке, причем кромки полосы заходят одна на другую

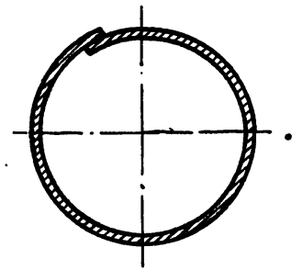


Рис. 316. Сворачивание трубы внакладку

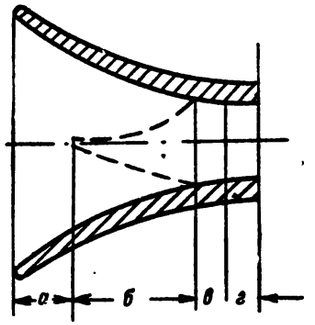



Рис. 317. Воронка для сворачивания труб встык:
*а* — участок ввода ленты в воронку; *б* — формовочный участок; *в* — сварочный участок; *г* — калибрующий участок

(рис. 316). Свернутая труба нагревается в сварочной печи до 1300—1350° и прокатывается на трубопрокатном стане дуо. Прокатка на этом стане происходит на оправке, причем труба сваривается под влиянием давления, производимого валками и оправкой.

С целью обеспечения качества свариваемого шва заготовку пропускают через валки 2—3 раза, подогревая ее в печи перед каждым пропуском и заменяя каждый раз оправку другой, большего диаметра. После прокатки трубы подвергаются горячей калибровке и правке.

Этот способ производства сварных труб выходит из употребления, так как трубы, получаемые другими способами, значительно лучше и дешевле.

При производстве труб печной сваркой встык штрипсы определенных размеров, предварительно выправленные и с обрезанными с одного конца углами, поступают в нагревательную печь. Штрипс, нагретый в печи до 1300—1350°, захватывается клещами за обрезанный конец и протягивается через воронку, вложенную в волочильную доску, на особом протяжном станке (рис. 317). В процессе протяжки штрипс сворачивается в трубу таким образом, что его кромки соприкасаются встык и благодаря давлению в воронке свариваются. Сваренная труба проходит через калибровочный стан, а затем поступает на холодильник и дальнейшие отделочные операции. Этим способом изготовляются трубы диаметром до 75 *мм*.



При современном способе производства применяются непрерывные валковые станы (рис. 318).

Лента в рулонах подается на разматыватель, за которым устанавливается роликовая правильная машина для правки ленты и частичного удаления окалины с ее поверхности. За правильной машиной установлены ножницы, на которых производится обрезка переднего и заднего концов ленты перпендикулярно ее оси. Для создания непрерывности процесса задний конец предыдущего рулона ленты сваривается с передним концом последующего на электросварочной машине, установленной за ножницами. На этой же машине при помощи специального устройства снимается грат. За сварочной машиной имеется петлеобразователь, накопляющий петлю длиной, достаточной для питания нагревательной печи во время сварки концов.

Нагрев ленты производится в нагревательной печи длиной около 40 *м*, на боковых сторонах которой установлены газовые горелки. По выходе из печи кромки ленты обдуваются воздухом, после чего она проходит через формовочно-сварочный стан, где формуется и сваривается.

Формовочно-сварочные станы обычно состоят из шести пар валков, из которых половина — вертикальные, половина — горизонтальные. В этом случае первая пара — формовочная, вторая — сварочная, остальные — редукционные. Вообще же число клетей у формовочно-сварочных станов доходит до двенадцати, что позволяет работать с большей скоростью и применять более широкий штрипс.

После сварки труба режется на ходу пилой на мерные длины и поступает в калибровочный стан. После калибровки трубы охлаждаются на холодильнике и проходят отделочные операции.

В настоящее время печной сваркой встык производят газоводопроводные трубы и трубы разного назначения диаметром до 100 *мм* из мягкой углеродистой стали.

Производство труб электросваркой. В последние годы развился и получил широкое распространение способ изготовления труб электрической сваркой. Этот способ имеет ряд преимуществ: возможность получения труб большой длины с тонкой стенкой от 0,15 *мм*, более точных размеров, более чистого сварочного шва и др.

Наиболее распространенным способом производства электросварных труб является контактная сварка сопротивлением. Трубы, получаемые этим способом, имеют разнообразное назначение и изготовляются диаметром от 6 до 630 *мм* с толщиной стенки от 0,15 до 20 *мм*.

Исходным материалом служит светлая холоднокатаная лента в рулонах, а для труб больших диаметров — листовая заготовка, которая предварительно подвергается очистке от окалины и ржавчины травлением или обдувкой металлическим песком.

Формовка трубы производится на формовочных непрерывных станах дуо с числом клетей от 5 до 12 в зависимости от размера труб (рис. 319).

Сформованная в холодном состоянии заготовка подается к сварочным электродам роликами, которые сближают кромки заготовки и совместно с электродами создают необходимое сварочное

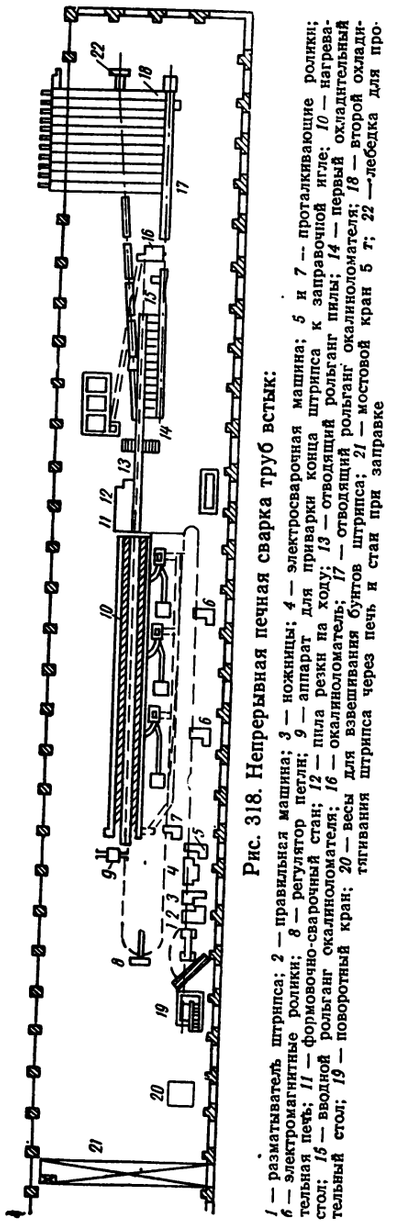


Рис. 318. Непрерывная печная сварка труб встык:

*1* — разматыватель штрипса; *2* — правильная машина; *3* — ножницы; *4* — электросварочная машина; *5* и *7* — проталкивающие ролики; *6* — электромагнитные ролики; *8* — регулятор петли; *9* — аппарат для приварки конца штрипса к заправочной игле; *10* — нагревательная печь; *11* — формовочно-сварочный стан; *12* — пила резки на ходу; *13* — отводящий рольганг пилы; *14* — первый охладительный стол; *15* — вводной рольганг окалиноломателя; *16* — окалиноломатель; *17* — отводящий рольганг окалиноломателя; *18* — второй охладительный стол; *19* — поворотный кран; *20* — весы для взвешивания бунтов штрипса; *21* — мостовой кран 5 т; *22* — лебедка для протягивания штрипса через печь и стан при заправке



давление (рис. 320). В момент смыкания кромок образуется замкнутая цепь тока, вследствие чего металл в стыке нагревается до температуры сварки и под давлением роликов и электродов

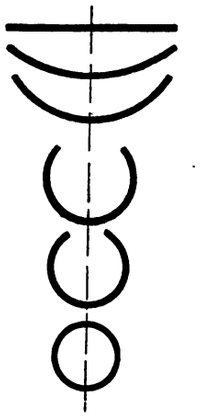


Рис. 319. Формовка трубы при электросварке

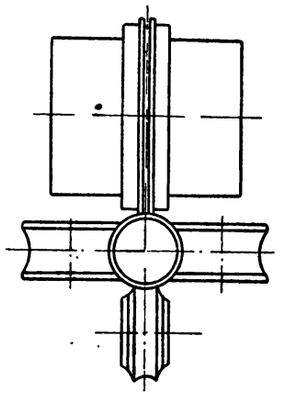


Рис. 320. Сварка трубы сопротивлением

шов сваривается. Избыток металла вытесняется и образует наружный и внутренний грат, который удаляется специальными приспособлениями. После сварки трубы проходят правку с калибровкой и дальнейшие отделочные операции.

Кроме производства электросварных труб контактной сваркой сопротивлением, применяются контактная сварка оплавлением, дуговая сварка под флюсом, атомно-водородная сварка и аргонодуговая.

Способ контактной сварки оплавлением не нашел широкого распространения из-за необходимости применения очень мощного механического и электрического оборудования, а также из-за ограниченной длины выпускаемых труб.

Дуговая электросварка под слоем флюса наибольшее распространение получила для производства толстостенных труб средних диаметров из углеродистой и легированной стали и труб больших диаметров из углеродистой стали.

Атомно-водородная сварка применяется главным образом для производства труб из легированной стали диаметром до 200 *мм* и с толщиной стенки от 2 до 12 *мм*, а аргоно-дуговая — для производства тонкостенных труб диаметром до 450 *мм* с толщиной стенки от 0,6 до 5 *мм* из высоколегированной стали аустенитного класса, а также из цветных металлов и сплавов.

Кроме основного способа получения труб сворачиванием, имеется ряд других способов. Сворачивание может быть в два слоя, по спирали, с получением механического замка (шва) и т. д.

Некоторые из этих новых способов имеют большое значение для производства тонкостенных трубок малого диаметра, изготовление которых путем последовательного волочения необычайно трудоемко и дорого.

Технико-экономические показатели производства труб. Расход металла на 1 *т* готовых труб при различных способах производства составляет:

| | |
|---|---|
| Прокатка труб на пилигримовых станах | 1,18(1,25) |
| Прокатка на автоматических станах | 1,08(1,12) |
| Прокатка труб на непрерывных станах | 1,06 |
| Печная сварка на непрерывных станах | 1,055 |
| Сварка труб сопротивлением | 1,05 |

Расход электроэнергии на 1 *т* готовых труб при различных способах производства составляет:

| | |
|---|---|
| Прокатка труб на пилигримовых станах | 80 (100) |
| Прокатка труб на автоматических станах | 100 (130) |
| Прокатка труб на непрерывных станах | 120 |
| Сварка труб встык на непрерывных станах | 40 |
| Сварка труб сопротивлением | 85 |

Примечание. Цифры в скобках — расход металла и электроэнергии при производстве труб с резьбой.

*РАЗДЕЛ 4.*

# ПРОЦЕССЫ ВОЛОЧЕНИЯ И ПРЕССОВАНИЯ

## *Глава XXVII*

## ВОЛОЧЕНИЕ

### 108. Оборудование волочильных цехов

По способу осуществления тяги волочильные станы делятся на цепные и барабанные.

На цепных станах (рис. 321) обычно протягиваются такие профили, которые после волочения выпускаются в виде штанг длиною около 3—5 *м*, а иногда и больше.

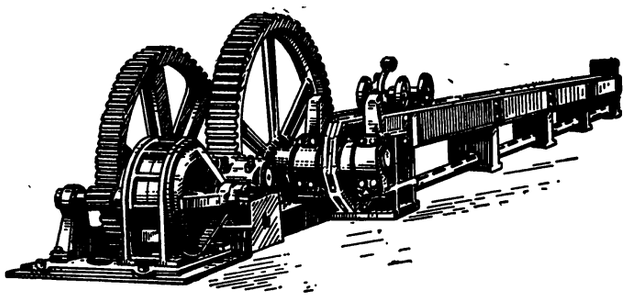


Рис. 321. Цепной волочильный стан

На заднем конце стана находится кронштейн, в который вставляется волочильная доска. Каретка, имеющая с одной стороны крюк для соединения с бесконечной цепью, а с другой клещи для захватывания металла, при помощи четырех роликов передвигается вдоль станины. С бесконечной цепью каретка соединяется путем опускания крюка между звеньями цепи. Крюк имеет противовес, предохраняющий от случайного зацепления. Двигаясь вместе с цепью, каретка увлекает за собой захваченный клещами металл и осуществляет тягу. Возврат каретки осуществляется при помощи специального устройства. Цепные волочильные станы изготавливаются с силой тяги от 1 до 150 *т*. Скорость волочения достигает 130 *м/мин*.

Барабанные волочильные станы применяются в тех случаях, когда обрабатываемый продукт может обертываться вокруг барабана, что прежде всего относится к проволоке. На наших заводах придерживаются следующей классификации проволоки: толстая ($d > 6$ *мм*), грубая ($d = 6 \div 3$ *мм*), средняя ($d = 2{,}9 \quad 1{,}8$ *мм*), тонкая ($d = 1{,}75 \div 0{,}8$ *мм*), тончайшая ($d = 0{,}75 \quad 0{,}4$ *мм*), наитончайшая ($d \leqslant 0{,}4$ *мм*). В связи с такой классификацией различают и станы для волочения указанных размеров проволоки.

Барабанный волочильный стан состоит из одного или нескольких барабанов, на которые наматывается проволока, протянутая через очко одной или нескольких волок. В зависимости от числа протяжек различают станы однократного и многократного волочения.

Станы однократного волочения применяются исключительно для волочения толстой и грубой проволоки; проволока же остальных размеров протягивается на станах многократного волочения.

Станы однократного волочения изготовляются одно- и многобарабанные. У многобарабанных станов барабаны монтируются на общей раме.

На рис. 322 показан общий вид стана однократного волочения, имеющего очень простое устройство, не требующее пояснений.

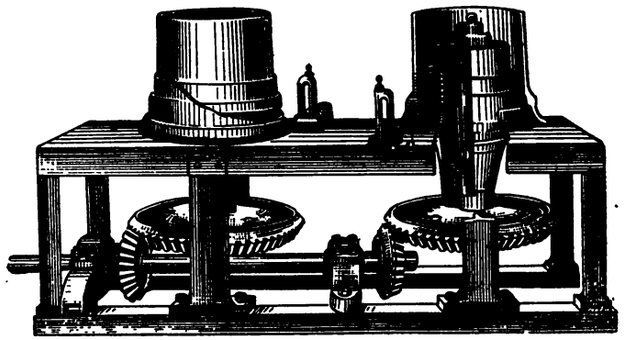


Рис. 322. Стан однократного волочения

Волочильные станы, у которых протяжка проволоки производится одновременно через несколько волок, называются станами многократного волочения. Станы многократного волочения разделяются на две группы: 1) со скольжением и 2) без скольжения.

У станов со скольжением скорости волочения и диаметры волок зависят друг от друга, а у станов без скольжения каждый барабан наматывает на себя проволоку, как и барабаны станов



однократного волочения. Поэтому в последнем случае отсутствует скольжение проволоки на барабане.

На рис. 323 показан волочильный стан без скольжения. У этих станов барабаны имеют пустотелые оси. Крышка в верхней части конусного барабана имеет отверстие, открывающее доступ в сквозной канал оси. На столе перед каждым барабаном укрепляются волоки. Проволока проходит через волоки и наматывается на барабан. Свободный конец проволоки скользит по крышке и спускается по каналу оси вниз под стол, где огибает направляющие ролики

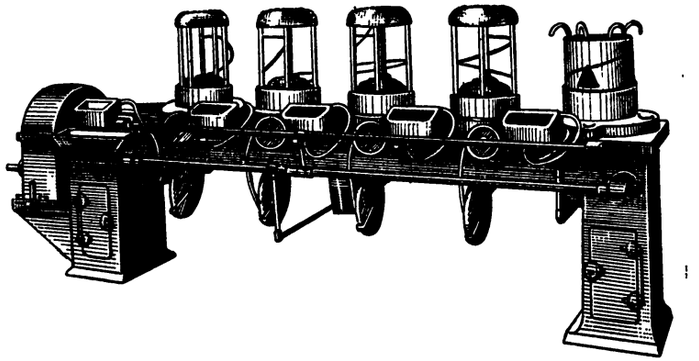


Рис. 323. Стан многократного волочения

и входит в очко волоки следующего барабана. На этом барабане проволока претерпевает те же операции и затем, выйдя из второго барабана, таким же путем проходит третий, четвертый, пятый и т. д. и затем навивается на последний барабан. Таким образом, каждый промежуточный барабан является одновременно тянульным, наматывая на себя проволоку, и фигуркой, питающей следующий барабан.

В зависимости от диаметра протягиваемой проволоки волочильные станы имеют следующую характеристику:

| | |
|---|---|
| Диаметр барабана, *мм* | 150—1000 и выше |
| Скорость волочения, *м/мин* | 6—1800÷3000 |
| Диаметр протягиваемой проволоки, *мм* | 0,002—20÷25 |
| Установленная мощность, *л. с.* | 7÷150 |

## 109. Волочильный инструмент и вспомогательные механизмы

В качестве инструмента применяются волочильные доски, волоки или матрицы, кольца и оправки.

В настоящее время волочильные доски применяются исключительно для протяжки прутков больших диаметров на цепных станах. Изготовляются они из углеродистых, малолегированных и высоколегированных сталей.

Для волочения проволоки диаметром 0,2 *мм* и выше применяются волоки из твердых сплавов. На наших заводах приме-

няются главным образом прессованные волоки из карбида вольфрама, причем наиболее устойчива марка ВК6, содержащая 94% карбидов вольфрама и 6% кобальта. Применяются также марки ВК3, ВК10 и ВК13.

Волока показана на рис. 324, угол первого (смазочного) конуса берется около 40°, угол рабочего конуса колеблется в пределах 10—12°, угол выходной распушки — 45—60°.

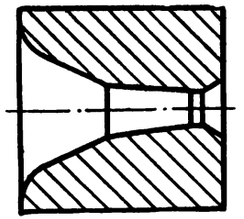


Рис. 324. Профиль волочильного очка — волоки

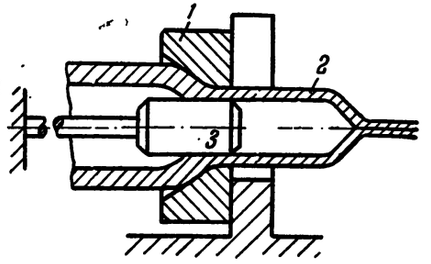



Рис. 325. Волочильное кольцо и оправка для волочения труб:
*1* — волочильное кольцо; *2* — труба; *3* — оправка

Для волочения прутков прямоугольного сечения применяются разъемные универсальные волоки со вставками из твердого сплава.

При изготовлении проволоки диаметром меньше 0,5 *мм* иногда применяют волоки из естественного алмаза. В целях предохранения от разрушения волоки заделывают в металлические оправки путем запрессовки, заливки жидким металлом или сплавом или пайки.

Обработка волок состоит из операций сверления, предварительной шлифовки и последующей полировки. Для сверления и прорезания профильных волок может использоваться электроискровой способ.

Стойкость волоки зависит от качества материала волоки и полировки очка, формы очка, качества протягиваемого металла, величины обжатия, качества смазки, скорости волочения и др.

Инструменты для волочения труб — кольца и оправки (рис. 325) изготовляются обычно из стали марок 35, 45, 12Х5МА, 30ХГСА и др. с последующей цементацией и закалкой.

Для того, чтобы передний конец прутка можно было продвинуть через волочильное отверстие, его необходимо заострить. Заострение может производиться как в горячем, так и в холодном состоянии. Заострение концов длиною 150—200 *мм* в горячем состоянии производится под молотами. Заострение концов прутков в холодном состоянии производится на многорезцовых заточных



станках или на станках с валками, имеющими конические ручьи (рис. 326). Заковка концов труб производится на пневматических молотах, а также на ковочных и ротационных машинах.

Для заправки проволоки в волочильное отверстие производят заострение концов ее в холодном состоянии. Для этой цели применяют ручные станки, валки которых имеют на поверхности конические ручьи.

Для выпрямления проволоки применяют устройство, состоящее из ряда роликов, через которые она протягивается.

Грубой промежуточной правке трубы подвергаются на кулачково-правильных станах, а окончательная правка производится на станах с гиперболоидальными валками.

Для снятия мотков проволоки с тянульного барабана применяется приспособление, изображенное на рис. 327.

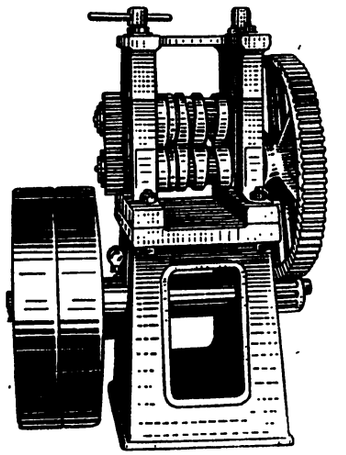


Рис. 326. Станок для заострения прутков

Заправка проволоки в волоки поглощает много времени, поэтому в целях увеличения производительности волочильных станов мотки проволоки сваривают между собою встык. Сварка мотков производится на специальных электросварочных аппаратах. Утолщенное место сварки зачищается до диаметра протягиваемой проволоки шлифовальными кругами.

Для удержания мотков и подачи проволоки на барабан применяют особое приспособление — фигурку (рис. 328).

Смазка помещается в водоохлаждаемой мыльнице, внутренние полости барабана также охлаждаются водой.

На современных станах имеются приспособления, которые автоматически выключают ток при обрыве проволоки.

## 110. Технологический процесс волочения прутков и проволоки

В качестве исходного материала для волочения обычно служит прокатанный в горячем состоянии металл, имеющий на поверхности окалину. Окалина обладает высокой твердостью и вызывает быстрый износ волочильного инструмента, поэтому она перед волочением удаляется с поверхности металла механическим, химическим или электрохимическим способами.

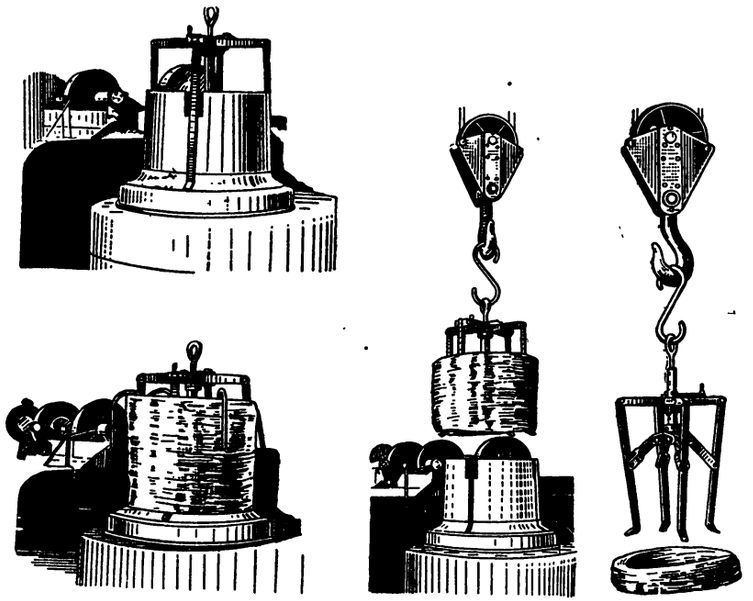


Рис. 327. Приспособления для снятия мотков проволоки с тянульного барабана

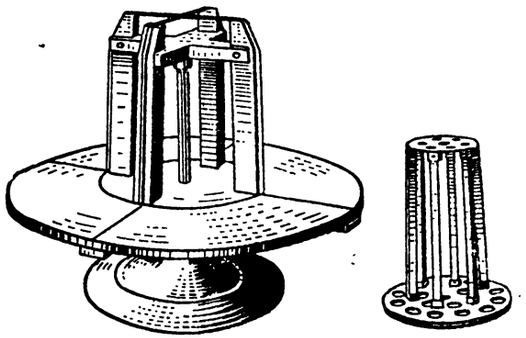


Рис. 328. Фигурка

При механическом способе прутки и проволока либо пропускаются через ряд роликов, расположенных в шахматном порядке, либо мотки проволоки деформируются в прессе из круга в овал. В результате деформации металла окалина разрушается и отскакивает. Механический способ не обеспечивает полного удаления окалины.



Наиболее распространенный способ удаления окалины — химический: травление в растворах кислот, преимущественно серной и соляной. Реже применяют также азотную кислоту и смесь соляной и азотной кислот.

На скорость травления оказывает влияние концентрация и чистота травильного раствора. Обычно концентрация кислоты колеблется в пределах 5—20%. Скорость травления возрастает с повышением температуры травильного раствора, обычно она составляет 40—70°.

Время травления колеблется в пределах 25—60 мин. При травлении выделяющийся водород может диффундировать в металл, вызывая хрупкость последнего. Для уменьшения травильной хрупкости, угара металла и расхода кислоты, а также для улучшения условий труда в ванну добавляют присадки: сульфошлам жидкий и твердый, крахмал, аниловый спирт, кислую каменноугольную смолу, «КС» и др.

При понижении концентрации до 1—2% травильный раствор удаляют и заменяют свежим.

Отработанные травильные растворы используются для получения в специальных установках побочных продуктов, как, например, железного купороса, количество которого доходит до 5% от веса протягиваемого металла.

Травление обычно производят в специальных травильных установках (рис. 329). При помощи коромысла корзину с бунтами проволоки погружают

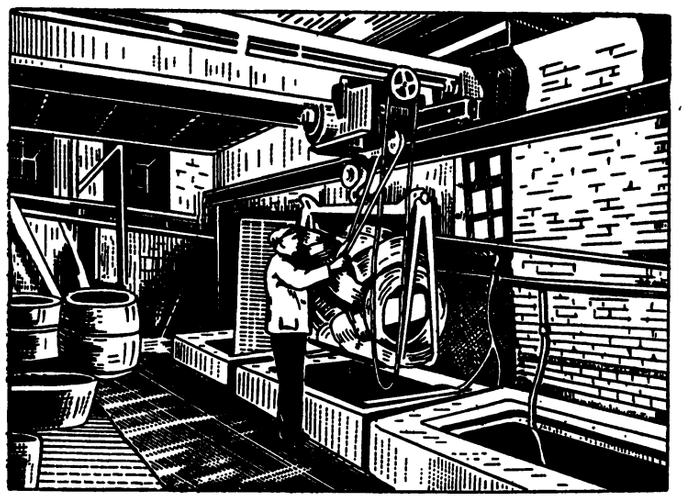


Рис. 329. Травильная установка

в травильную ванну. Ускорение процесса достигается циркуляцией раствора или встряхиванием корзины.

Для подогрева травильного раствора к ваннам подводят паропровод, причем в самой ванне пар проходит по трубе в виде змеевика. После травления корзина с металлом переносится и погружается в промывную ванну с горячей водой.

Если металл в дальнейшем протягивается несколько раз (например проволока), то он подвергается желтению в специальных камерах, в которые по-

дается мелко распыленная вода. Желтый налет $(Fe_2O_3)_2$, образующийся в результате окисления металла, улучшает условия трения при волочении.

После промывки и желтения следует известкование, которое нейтрализует остатки кислоты на поверхности металла, а также улучшает условия трения при волочении. Известкование производится в нагретом до кипения известковом растворе в течение 1 мин., путем опускания и поднятия металла из ванны. В результате известкования на поверхности металла создается тонкая пленка, которая в совокупности со смазкой благоприятно влияет на процесс волочения.

После известкования производится сушка металла в сушилах нагретым до 250—350° воздухом, в течение 5—15 мин.

Прогрессивным способом травления является *электрохимический*, обеспечивающий высокое качество поверхности, повышенную стойкость волок, допускающий работу на повышенных скоростях и уменьшающий расход кислоты. Потери металла при травлении составляют около 1—2%, расход кислоты около 2—3% и извести около 4%.

Для уменьшения потерь на трение, достигающих 50% от общего усилия, волочение производят с применением смазок. Смазка должна быть прочной, противостоять выдавливанию, хорошо смачивать металл, не должна ухудшать состояние поверхности металла и быть дешевой. К сухим смазкам относятся мыла; к полутвердым — тавот и мазут, смешанные с известью, и др. (полутвердые смазки применяют главным образом при волочении прутков).

Жидкие смазки употребляются в тех случаях, когда требуется получить проволоку со светлой поверхностью. В состав жидких смазок входят: мыло, минеральное масло, вода, сало, мука, серная кислота, медный купорос, графит и др.

При волочении стальной проволоки с успехом применяется фосфатирование погружением в 3%-ный раствор дигидроортофосфатов марганца и железа. В результате фосфатирования на поверхности металла образуется прочная пленка из фосфатов марганца и железа, которая обеспечивает стойкое покрытие смазкой.

Наибольшее распространение при волочении получили: из твердых смазок натронное мыло, а из жидких — смесь масла с графитом. При волочении труб в качестве смазки применяют торфяное сало, активированное машинное масло и др. Средний расход мыльного порошка при волочении составляет 1,5 *кг* на 1 *т* проволоки.

Для снятия наклепа и придания металлу необходимых структуры и свойств применяют термическую обработку.

К термообработке, предшествующей волочению, относятся рекристаллизация (отжиг), нормализация, закалка с отпуском, патентирование.

При патентировании проволока нагревается выше критической точки $Ac_3$, затем охлаждается в расплавленных свинце или в солях при температуре в пределах 450—550° или на воздухе.



К термообработке, сопутствующей волочению, относятся разогрев металла вследствие деформации и действия сил трения. Волочение трудно деформируемой стали иногда производится в подогретом состоянии, причем температура подогрева достигает 300°. Осваиваются, как уже отмечалось ранее, и специальные способы горячего волочения с охлаждением металла при выходе из волоки. Окончательная термообработка готового продукта применяется с целью придания металлу необходимых свойств и структуры.

При производстве труб, проволоки и прутков ответственного назначения (как, например, серебрянки) большое значение имеют отделочные операции: правка, шлифовка, полировка, резка. Трубы и прутки после протяжки их на цепных станах, а также проволока, смотанная в мотки, получаются искривленными. Для выпрямления они подвергаются правке на правильных станах (причем толстая проволока одновременно с правкой может разрезаться на прутки длиной 1,5—3 *м*). Риски, раковины, рябизна и пр. значительно ухудшают механические свойства металла. Для удаления указанных дефектов металл подвергается шлифовке на специальных шлифовальных станках.

Для улучшения поверхности, антикоррозионных свойств и увеличения сопротивления знакопеременной нагрузке прутковый материал подвергают полировке на полировальных машинах. В полировальных машинах одновременно происходит и более совершенное выпрямление прутков.

Отрезка концов у прутков и труб и разрезка прутков на мерные длины производятся на ленточных и дисковых пилах.

В табл. 27 приведена карта технологического процесса изготовления канатной проволоки.

## 111. Особенности технологического процесса волочения стальных труб

Стальные тонкостенные бесшовные трубы получают окончательную обработку либо при помощи холодного волочения, либо холодной прокатки, либо способом, сочетающим и холодную прокатку и холодное волочение.

Технологический процесс волочения стальных тонкостенных труб кроме обычных операций включает омеднение, которое, понижая коэффициент трения, предохраняет поверхность трубы от задирания ее волочильным инструментом. Вместе с этим снижается и тяговое усилие на цепи волочильного стана. Омеднение производится в специальных ваннах, содержащих двух-, трехпроцентный раствор серной кислоты с добавкой 3—3,5% медного купороса. В ванну краном загружают трубы и выдерживают в них

Таблица 27

Карта технологического процесса изготовления канатной проволоки с содержанием 0,80% углерода

| Диаметр каната и проволоки, мм | | Патентирование канатной | | | Волочение | | Патентирование проволоки диаметром 3,0 мм | | | Волочение | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | температура, °С | | | | | температура, °С | | | | |
| расчетный диаметр, мм | | проволоки | свинца | скорость м/мин | предел прочности кг/мм² | маршруты | проволоки | свинца | скорость м/мин | предел прочности кг/мм² | маршруты |
| 5,2 | 2,0 | 860—880 | 490—510 | 2,9—3,0 | 90—100 | 5,2—4,3—3,6—3,0 | 880—900 | 480—500 | 7—8 | 95—105 | |
| 5,2 | 1,2 | 860—880 | 490—510 | 2,9—3,0 | 90—100 | 5,2—4,3—3,6—3,0 | 880—900 | 480—500 | 7—8 | 95—105 | |
| 5,2 | 0,6 | 860—880 | 490—510 | 2,9—3,0 | 90—100 | 5,2—4,3—3,6—3,0 | 880—900 | 480—500 | 7—8 | 95—105 | 3,0—2,6—2,0—1,8<br>1,6—1,4 |

| Волочение | | | | Патентирование проволоки диаметром 1,4 мм | | | Волочение на выходной диаметр | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| суммарное обжатие, % | | | | температура, °С | | | маршруты | суммарное обжатие % | предел прочности кг/мм² | |
| суммарное обжатие, % | маршруты | суммарное обжатие, % | предел прочности кг/мм² | проволоки | свинца | скорость м/мин | предел прочности кг/мм² | | | |
| 67 | 5,2—4,3—3,6—3,0 | 67 | 90—100 | | | | 3,0—2,6—2,4—2,0 | 55,5 | 145 | |
| 67 | 5,2—4,3—3,6—3,0 | 67 | 90—100 | | | | 3,0—2,6—2,1—1,75—1,45—1,2 | 84 | 160 | |
| 67 | 5,2—4,3—3,6—3,0 | 67 | 90—100 | 860—880 | 490—510 | 14—15 | 1,4—1,2—1,0—0,85—0,75—0,67—0,6 | 82 | 190 | |

Примечание. После каждой термообработки предусматривается травление в серной кислоте.



в течение 2—3 мин. Толщина слоя меди составляет 0,004—0,006 *мм*.

Холодное волочение труб производится: 1) на длинной оправке, когда труба протягивается вместе с длинной оправкой через неподвижное кольцо (рис. 330, *а*); 2) на короткой оправке, когда труба протягивается между неподвижным кольцом и неподвижной короткой оправкой (рис. 330, *б*); 3) на свободной (плавающей) оправке (рис. 330, *в*), представляющей разновидность волочения на короткой оправке; 4) без оправки (рис. 330, *г*). Существуют и другие методы волочения стальных труб.




Рис. 330. Способы холодного волочения труб

Вытяжка в первых и последних проходах обычно составляет 1,15—1,25; при промежуточных обжатиях 1,30—1,45. При волочении на длинной оправке вытяжка может достигать 1,8. Расходный коэффициент металла при холодном волочении колеблется для труб из стали различных марок от 1,10 до 2,3.

## 112. Холодная прокатка труб и сравнение ее с процессом волочения

Вследствие особых условий процесса волочения через очко коэффициент вытяжки за один проход обычно не превышает 1,5—1,8.

При холодной же прокатке труб, на станах, работающих по принципу пилигримовых станов, возможно более полно исполь-

зовать пластичность металла, получая коэффициенты вытяжки в среднем 4—6 и в отдельных случаях даже 6—8.

Таким образом, способ холодной прокатки труб более эффективен по сравнению с холодным волочением, так как он позволяет сократить число промежуточных операций (отжиг, травление, сушка, правка и т. п.) в 4—5 раз за счет значительного увеличения деформации металла при каждой операции прокатки.

Периодический стан для холодной прокатки труб имеет подвижную клеть. Валки делаются с вырезами, в которые вставляются полудиски — калибры с переменным радиусом (рис. 315).

Валки укрепляются в клети и вместе с ней перемещаются вперед и назад при помощи кривошипношатунного механизма. Прокатка трубной заготовки производится на конической оправке. Во время движения клети вращение валков осуществляется шестерней, перемещающейся по зубчатой рейке.

Положение оправки регулируется штангой; заготовка укрепляется в патроне, который продвигает ее в валки в определенные моменты.

Клеть периодически накатывается на неподвижную трубу и обжимает стенки ее. Во время обратного движения клети труба подается вперед и при этом поворачивается на 60—90°. При прокатке на таком стане диаметр и толщина стенки трубы уменьшаются, а длина ее увеличивается.

Для получения труб различного диаметра путем холодной прокатки необходимо часто производить перевалки валков, что связано с большими простоями (до 3—4 час.). При холодном же волочении смена инструмента занимает всего несколько минут.

Поэтому в современных цехах для производства тонкостенных труб применяют оба процесса обработки, устанавливая станы холодной прокатки, на которых прокатывают трубные заготовки для последующего безоправочного волочения.

## 113. Производительность волочильных станов. Брак при волочении

Производительность волочильных станов можно определить по формуле

$$N = \frac{T}{t_м + \Sigma t_р} G \ кг/смену, \qquad (151)$$

где $T$ — продолжительность рабочего дня (смены), мин.;

$G$ — вес единицы изделия, *кг*;

$t_м$ — необходимое машинное время для производства единицы изделия, мин.;

$\Sigma t_р$ — сумма всех пауз, или необходимых ручных операций, затрачиваемых рабочим на производство единицы изделия, не совмещаемых с работой станка.

Учитываемое этой формулой машинное и ручное время, необходимое для осуществления процесса волочения, на отдельных заводах в зависимости от размеров труб может заметно колебаться.



Брак при волочении прутков, труб и проволоки относится к следующим пяти группам:

1. Брак по размерам: а) несоответствие профилю, б) отклонение от допусков по размеру и овальность, в) затяжка, т. е. местное утонение поперечного сечения.

2. Брак по поверхности: а) продольные риски и царапины, б) поперечные трещины и риски, в) закаты и плены, г) раковины и рябизна, д) расслоение, е) перетрав, ж) задиры и др.

3. Брак по механическим, физическим, электротехническим и химическим свойствам.

4. Брак по весу, намотке и упаковке: а) легковесные или тяжеловесные мотки, б) небрежное связывание мотков, в) перепутывание витков, г) плохая смазка и т. п.

5. Брак по структуре и излому: а) обезуглероживание, б) несоответствие структуры техническим условиям, в) крупнокристаллический излом и др.

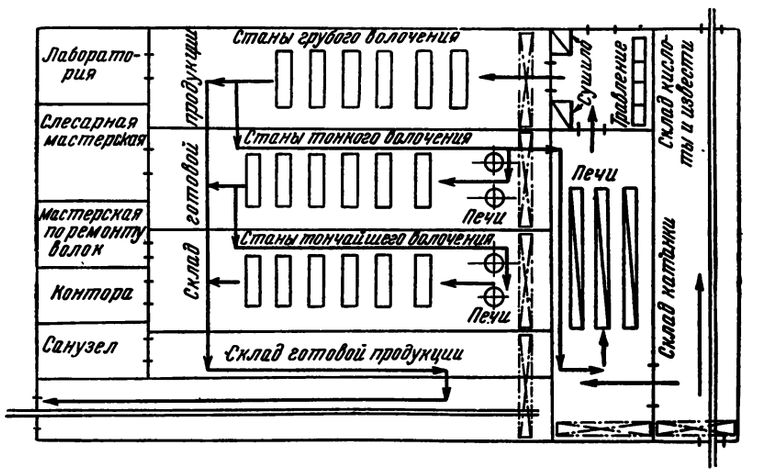



Рис. 331. Схема расположения оборудования в сталепроволочном цехе

Причиной указанных видов брака является нарушение технологического процесса, плохое состояние волочильного инструмента, неправильная форма инструмента, плохая смазка, плохое качество протягиваемого металла, неправильные обжатия и т. п.

Основным условием, которое должно соблюдаться при расположении оборудования в волочильных цехах, является соблюдение последовательного грузопотока металла. Между волочильными станами должно быть расстояние, предусмотренное правилами по технике безопасности, для прохода людей, проезда транспорта,

а также предусмотрены площадки для готового продукта. Цепные волочильные станы обычно устанавливаются параллельно один другому.

Таким же образом устанавливаются станы для грубого волочения. Станы для волочения проволоки более тонких размеров часто устанавливаются на одной линии, чтобы рабочие могли одновременно обслуживать несколько станов. Волочильные агрегаты должны быть изолированы от вредных паров и газов травильного отделения капитальными стенами.

На рис. 331 показана схема расположения оборудования сталепроволочного цеха.

### 114. Организация работы и достижения новаторов производства в волочильных цехах

Анализ работы передовиков производства показывает, что успехи, достигнутые ими в выполнении и перевыполнении норм выработки, объясняются сокращением простоев и времени ручных операций.

Так, у одного волочильщика рабочее место было хорошо организовано, потеря времени составила 3,3% и выполнение нормы получилось равным 157%. У второго же волочильщика потеря времени оказалась 20,8%, а выполнение нормы всего 82%. У второго волочильщика много времени было израсходовано на ожидание и подноску заготовки, накладку заготовки с пола на вагонетку и др. Большое значение имеют также технические мероприятия; так, новаторы производства одного из заводов, повысив скорость волочения стальных труб на 15-тонном волочильном стане на 27%, добились увеличения производительности на 20%.

За последнее время разработаны и широко внедрены в практику такие высокопроизводительные методы волочения труб, как волочение на длинной оправке, волочение на плавающей оправке, волочение через два кольца и др. Указанные методы работы дают значительный технико-экономический эффект. При волочении на длинной оправке общая деформация за один проход может составлять 40—45%. Большой интерес представляет волочение на барабане труб малых размеров. Производительность на барабанах в 2,5—3 раза больше, чем цепных волочильных станов. а выход годного достигает 99%.



## *Глава XXVIII*

# ПРЕССОВАНИЕ (ВЫДАВЛИВАНИЕ ЧЕРЕЗ ОЧКО)

### 115. Прессы гидравлические и механические

По роду действия прессы бывают гидравлические и механические. В гидравлических прессах вода под давлением 200—400 *ат* подается в рабочие цилиндры и воздействует на поршень пресса. В механических прессах поршень большей частью приводится в движение от электродвигателя.

Гидравлические прессы в настоящее время строятся на давление до 30 000 *т* и выше, а механические — на давление до 6000 *т*. Наибольшее распространение получили прессы в 5000, 3000 *т* и ниже. На мощных прессах прессуются слитки диаметром до 500 *мм* и длиной до 1 *м* и больше.

Гидравлические прессы подразделяются: 1) по направлению прессования — на прессы горизонтальные и вертикальные; 2) по расположению матрицы — на прессы прямого и обратного действия и 3) по роду прессуемых изделий — на прессы для получения сплошных изделий и прессы для получения полых изделий.

Прессовая установка обычно состоит из: 1) пресса горизонтального или вертикального; 2) распределителя, направляющего воду к рабочим частям пресса; 3) насосов, подающих воду к прессу или к аккумулятору; 4) аккумулятора высокого давления, служащего для регулирования давления и ускорения работы пресса; 5) аккумулятора низкого давления, обеспечивающего холостой ход пресса.

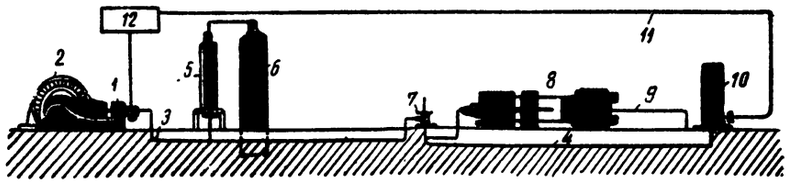



Рис. 332. Схема прессовой установки

На рис. 332 показана схема прессовой установки. Насос высокого давления *1* приводится в движение двигателем *2* и подает воду по трубопроводу *3* к аккумулятору, состоящему из водяного баллона *5* и одного или нескольких воздушных баллонов *6*. Вода, входящая в баллон *5*, сжимает в нем и в соединенном с ним баллоне *6* воздух до рабочего давления 200—400 *ат*. Когда пресс *8* начинает работать, вода одновременно от насоса и от аккумулятора распределителем *7* подается под рабочим давлением в пресс, который совершает работу. При обратном ходе пресса вода из цилиндра

тем же распределителем *7* подается по трубе *4* в аккумулятор низкого давления *10* и по достижении необходимого давления подается по трубам *11* в бак *12* и далее в насос *1*. Обратный ход пресса совершается водой низкого давления, поступающей из аккумулятора *10* по трубе *9*.

На рис. 333 показан вертикальный гидравлический пресс; готовое изделие выходит в подвал под прессом.

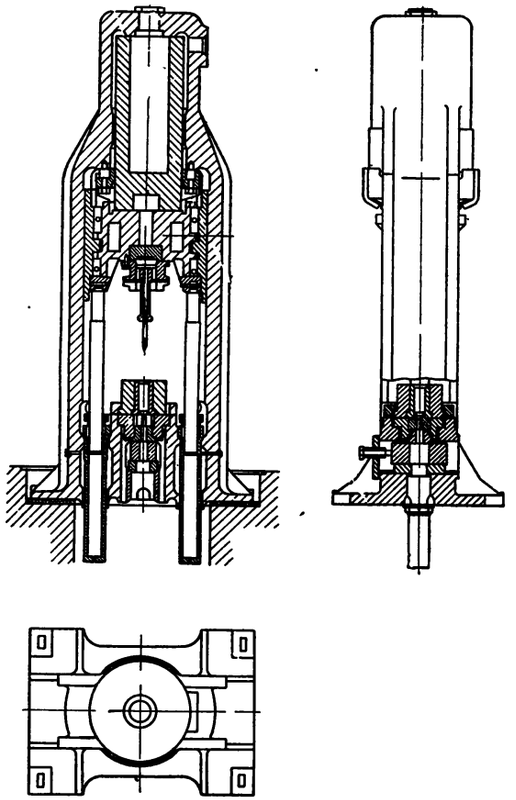


Рис. 333. Вертикальный гидравлический пресс

На рис. 334 показан горизонтальный гидравлический пресс.

Гидравлические прессы требуют ряда сложных дополнительных устройств, естественно поэтому стремление заменить гидравлические прессы более простыми, дешевыми и безопасными в эксплуатации механическими прессами.

В качестве рабочего прессового инструмента применяются: матрицы, матрицедержатели, пуансоны, иглы, иглодержатели, прессшайбы, рубашки приемника (втулки) (рис. 335). Рабочий инструмент работает в исключительно тяжелых условиях как в смысле величины нагрузки, так и быстроты нагрева и охлаждения. Вследствие этого для изготовления рабочего инструмента применяются высококачественные специальные стали, содержащие вольфрам, молибден, ванадий, хром, никель и др.



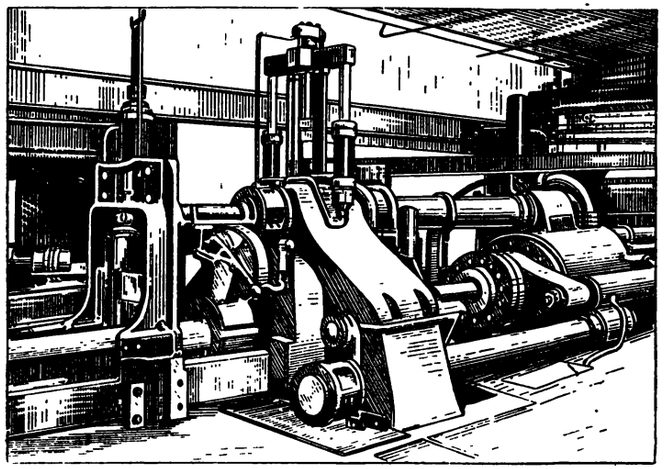


Рис. 334. Горизонтальный гидравлический пресс

## 116. Технологический процесс прессования прутков и труб из цветных металлов

На производительность прессовых установок существенное влияние оказывает скорость прессования.

При прессовании различают две скорости: 1) скорость прессования, т. е. скорость движения поршня и прессшайбы, и 2) скорость истечения металла из очка матрицы. Если $v_1$ — скорость движения прессшайбы и $v_2$ — скорость выхода металла из очка матрицы, то по общей формуле:

$$v_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} v_1 = \mu v_1,$$

т. е. скорость истечения металла из очка матрицы пропорциональна коэффициенту вытяжки. Скорость прессования выбирается в зависимости от пластичности сплава. Сплавы с повышенной пластичностью обычно прессуются при более высоких скоростях. Так, медь и ее сплавы Л62, Л96 и некоторые другие допускают скоро-

сти истечения 1,5—4 *м/сек*; дуралюмины и некоторые бронзы прессуются при скоростях 0,025—0,10 *м/сек*. Скорость прессования труб должна быть меньше, чем при прессовании прутков.

Как показали многочисленные исследования, для получения однородного и мелкозернистого металла, обладающего высокими механическими свойствами, степень обжатия при прессовании должна быть не менее 92%, чему соответствует вытяжка $\mu = 12{,}5$.

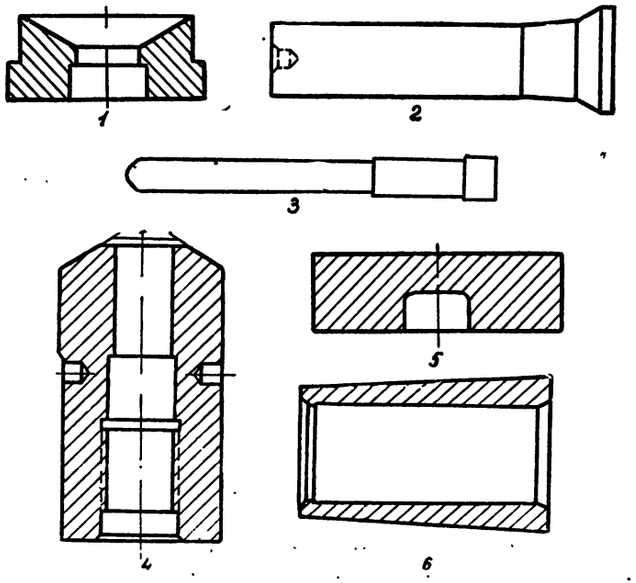



Рис. 335. Инструмент для прессования:
*1* — матрица; *2* — пуансон; *3* — игла; *4* — иглодержатель; *5* — прессшайба; *6* — втулка приемника

Прессование труб всегда ведется через одно очко, прутки же прессуются по прямому методу в несколько очков одновременно в зависимости от способности металла прессоваться, мощности пресса и размеров слитков и прутков. Для получения прутков малых диаметров матрицы могут иметь до 50 очков, однако из-за возможности получения брака более шести прутков одновременно прессовать избегают.

В ряде случаев при изготовлении труб применяют два прессования, причем между первым и вторым прессованием производят правку, резку, центровку и нагрев трубы.

Слитки перед прессованием нагреваются в нефтяных, газовых или электрических методических печах. Температура нагрева



слитков колеблется в зависимости от состава металла (сплава), размеров слитка и прессуемого продукта и пр. Так, например, сталь перед прессованием нагревается до 1100—1250°, медь до 675—925°, алюминий до 340—420° и т. п.

Перед началом работы приемник, матрица и прессшайба должны быть нагреты до 200—300°, а иглы до 350—400°. Приемник и матрица смазываются смесью машинного масла с графитом.

В результате нарушения технологии и установленных приемов работы при прессовании труб, прутков и профилей получается брак следующих видов: трещины продольные и поперечные, плены, запрессовка окалины и загрязнений, разностенность по сечению трубы, разностенность по длине трубы, кривизна труб, несоблюдение заданных размеров, царапины и риски, брак по химическому составу и др.

## 117. Прессование стальных труб

Нагрев заготовок производится в обычных пламенных печах, в печах с нейтральной или восстановительной атмосферой или же при помощи высокочастотного электрического нагрева. Стойкость матриц в 3—5 раза выше в случае прессования труб из заготовок, нагретых в восстановительной или нейтральной атмосфере, по сравнению с прессованием заготовок с окалиной. Температура нагрева заготовок перед прессованием 1100—1250°. Нагретая заготовка поступает в окалиноломатель, состоящий из двух косо расположенных валков. Более эффективно окалину можно удалить методом гидроочистки.

Стальные трубы рекомендуется прессовать при максимально высоких температурах и скоростях; во избежание образования трещин и расслоений прессование стальных труб производится со скоростями до 1,8—4,5 *м/сек* и даже более.

Стальные трубы прессуются со смазкой, так как при отсутствии смазки горячий металл заготовки налипает на инструмент, а в местах повышенного разогрева даже приваривается к нему. В качестве смазки рекомендуется применять графитовую пасту. При прессовании труб из низкопластичной стали применяют металлическую смазку в виде тонкого слоя меди между вытекающим металлом и инструментом.

При прессовании труб из сталей жароупорной, нержавеющей и других высоколегированных марок и специальных сплавов (железо-никель, железо-кобальт) в качестве смазки применяют стекло. Применение стекла в 2—3 раза уменьшает коэффициент трения по сравнению с графитовой смазкой; кроме того, стекло является и теплоизолирующим материалом.

Удельное давление при прессовании стальных труб значительно возрастает с увеличением степени деформации. Так, при

прессовании труб из стали 35 при 1150° при увеличении степени деформации с 88,5 до 98% удельное давление возрастает с 28 до 70 *кг/мм²*. Прессованные стальные трубы по механическим свойствам вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к бесшовным трубам.

Для получения хорошей поверхности стальных труб рекомендуется прессование их производить через конические матрицы с входным углом матричной воронки от 150 до 130°. По данным Гипромеза, стойкость стальных матриц для прессования труб из углеродистой и низколегированной стали составляет около 300 прессований, для прессования ребристых труб из той же стали — 100 прессований и для труб из высоколегированной стали типа 25-20 и ЭЯ1Т—60 прессований. В случае необходимости трубы подвергаются термической обработке с последующим травлением.

## 118. Технико-экономические показатели прессования; расположение прессового оборудования

Средний выход годного при прессовании прутков и труб цветных металлов и сплавов — около 80%. Отходы при прессовании получаются следующих видов: 1) стружка, получаемая при обточке и центровке слитков, 2) угар, 3) остаток слитка в приемнике — прессостаток и 4) выпрессовка при прошивке иглой.

При прессовании стальных труб отходы составляют 8—10%, а прутков и профилей — 10—12%.

Работа на прессах характерна тем, что значительная часть времени тратится на выполнение вспомогательных операций, которые занимают до 80% времени, необходимого для выполнения одного цикла прессования. Изучая работу пресса, хорошо подготовляясь к работе, организуя согласованные действия членов бригады, передовики производства сокращают время на выполнение вспомогательных операций.

Прессовые цехи должны располагаться таким образом, чтобы они были увязаны с литейными, прокатными и волочильными цехами.

На основе проектного задания определяются размеры и развес слитков, разрабатывается схема технологического процесса, подсчитывается количество потребных слитков и получающихся отходов и составляется баланс металла. Затем выбираются типы основного и вспомогательного оборудования. После выбора конструкции прессов и определения потребного количества их подсчитывается общий расход воды, определяется объем аккумуляторов, производительность насосов и мощность двигателей, а также разрабатывается схема трубопроводов.

Все оборудование устанавливается в порядке технологического потока с учетом требований техники безопасности и санитарии.



При установке вертикальных прессов сооружают глубокий подвал — яму, причем прессуемые вниз прутки, изгибаясь по жолобу, переходят в горизонтальное положение и партиями извлекаются из подвала — ямы посредством крана. В цехе должна быть уста-

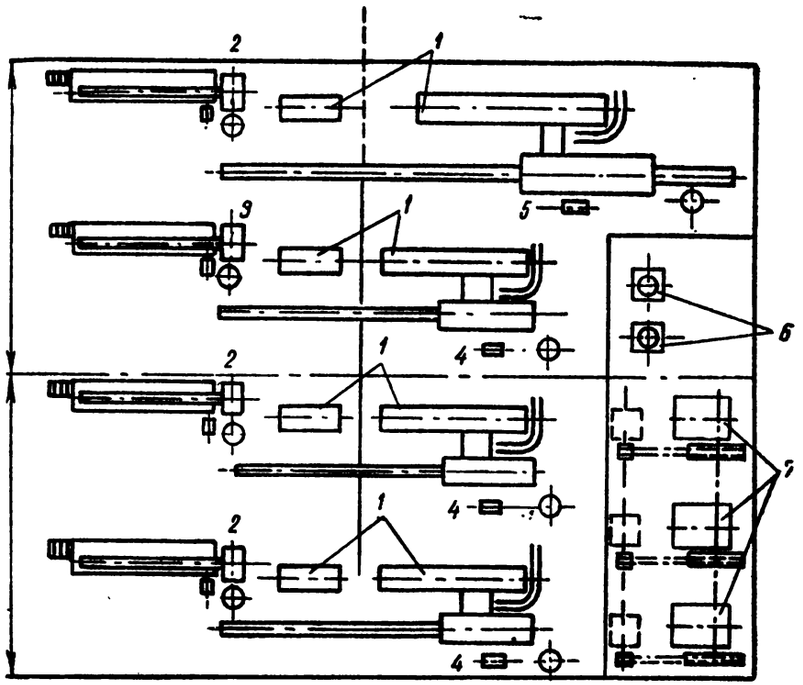



Рис. 336. План расположения оборудования в прессовом цехе:
*1* — печи; *2* — трубные прессы 600 *т*; *3* — трубный пресс 500 *т*; *4* — прессы 1000 *т*; *5* — пресс 2000 *т* для прутков; *6* — пневматические аккумуляторы; *7* — насосы

новлена приточно-вытяжная вентиляция. Особенно сильной она должна быть в подвале под прессом. На рис. 336 показан план расположения оборудования в прессовом цехе.

РАЗДЕЛ 5

# ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КУЗНЕЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

## *Глава XXIX*

## ОБОРУДОВАНИЕ КУЗНЕЧНЫХ ЦЕХОВ

### 119. Общая характеристика кузнечных цехов

Как уже отмечалось ранее, обработка металлов кузнечным способом имеет разновидности: свободную ковку, горячую штамповку и холодную штамповку.

Для штамповки характерно применение разнообразного специализированного инструмента.

В последние годы, по мере развития технологии штамповки и распространения крупносерийного и массового производства деталей машин, появились агрегаты, у которых специализирован не только инструмент, но и сами машины-орудия. К этому типу штамповочных агрегатов относятся автоматы для производства болтов или гаек с накатанной резьбой, раскаточные машины для изготовления кольцеобразных деталей, гибочные машины для получения изделий изогнутых форм, машины для изготовления пружин, железнодорожных костылей, телеграфных крюков и других изделий, требуемых в огромных количествах. Специализированные агрегаты обеспечивают высокие показатели выхода годного, экономный расход энергии, большую производительность и высокое качество изделий. Машины этого вида облегчают автоматизацию штамповочного производства. Однообразие получаемых изделий, высокая чистота поверхности и большая точность размеров также являются преимуществами специализированных штамповочных агрегатов.

Цехи, в которых преобладает свободная ковка, называются кузнечными цехами свободной ковки. Мелкие и средние по весу поковки (до 1 *т*) в этих цехах с выпуском до 25 000 *т* в год производят на молотах. Это цехи металлургических, станкостроительных, судостроительных и других заводов.

Среди кузнечных цехов свободной ковки особое место занимают цехи тяжелых поковок машиностроительных заводов, именуемые иногда *кузнечно-прессовыми цехами,* так как преобладающими машинами-орудиями в них являются прессы (гидравлические и парогидравлические). Выпуск поковок этими цехами достигает 60 000 *т* в год, а наибольший вес одной поковки 250 *т* и более.



Цехи, в которых преобладает горячая штамповка на молотах, прессах, горизонтальноковочных машинах и другом горячештамповочном оборудовании, носят название *кузнечно-штамповочных.* Выпуск отдельных цехов этого вида достигает 150 000 *т* в год при наибольшем весе поковок в сотни килограммов. Это цехи крупносерийного производства машиностроительной промышленности: автомобильной, тракторной, сельскохозяйственной, железнодорожного транспорта, авиационной и пр.

Цехи, предназначенные для холодной штамповки из листовых заготовок, называют *холоднопрессовыми цехами.* Это весьма разнообразная группа цехов серийного и массового производства таких мелких изделий, как детали часов, и таких крупных, как детали кузова легкового автомобиля. Изделия цехов холодной штамповки обычно поступают в сборку без значительной дополнительной обработки.

Остальные цехи относятся к *специализированным,* называемым либо по типу выпускаемой продукции (рессорные, гвоздильные, пружинные, бандажные, снарядные цехи), либо по типу установленного оборудования (цехи холодновысадочных автоматов, обжимных машин, вальцовочные и т. п.). Среди этих цехов есть холодноштамповочные и горячештамповочные. Выпуск цехов специализированного типа составляет 50 30 000 *т* изделий в год. Тип производства — преимущественно массовый [33].

**В рассмотренную группу цехов не вошли мастерские с ручной ковкой на наковальнях и применением горнов, так как эти мастерские потеряли промышленное значение и используются лишь кое-где для ремонтных целей или изготовления небольших партий инструмента и т. д.**

### 120. Основное оборудование кузнечных цехов

Наиболее типичные машины, используемые в кузнечных цехах, разделяются на четыре группы по кинематическим и динамическим признакам (рис. 337).

Молоты (I группы) осуществляют ударную деформацию металла за счет энергии, накапливаемой падающими частями к моменту соприкосновения их с заготовкой. Молоты подразделяются на пневматические ковочные, паро-воздушные для ковки и штамповки, фрикционные штамповочные (с ремнем или доской) и рычажные ковочные (рис. 338, *1—4*). По характеру действия к этой группе машин-орудий примыкают также фрикционные винтовые прессы (рис. 338-,*5*-5). Обычно нижняя часть рабочего инструмента *а* — неподвижна, а верхняя *б* осуществляет удар.

Гидравлические прессы (группа II, рис. 337 и 338, *б*) объединяют группу машин с гидравлическим или паро-гидравлическим приводом, осуществляющих деформацию металла давлением за счет энергии, непрерывно подводимой в течение всего периода деформации металла. Эта группа машин в конструктивном отноше-

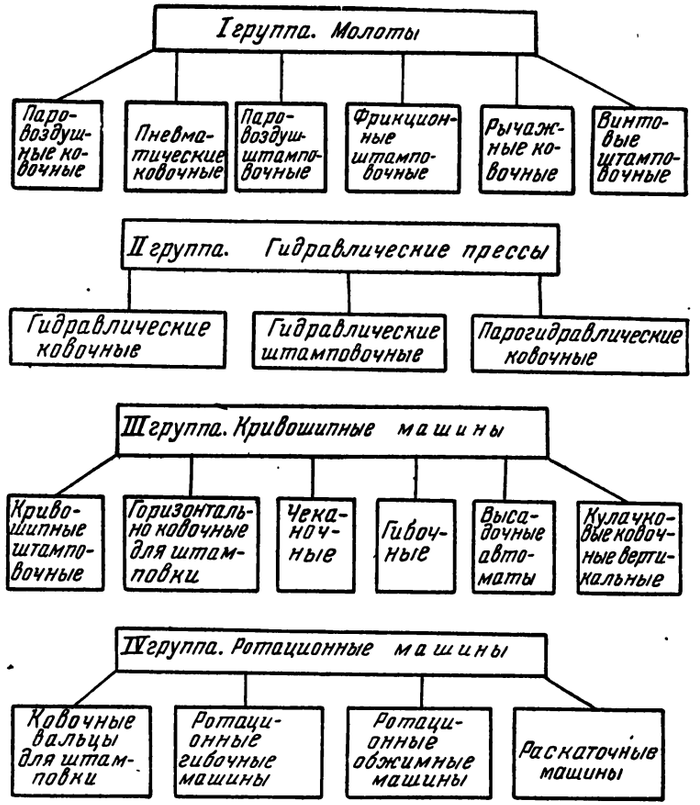



Рис. 337. Классификация машин, применяемых для ковки и штамповки

нии весьма разнообразна и имеет широкое распространение. Кривошипные машины (группа III, рис. 337 и 338, *7—12*) представляют собой весьма обширную группу эксцентриковых, коленчатых, кулачковых и колено-рычажных машин. Эти машины обрабатывают металл давлением, в основном за счет энергии, накапливаемой вращающимися на холостом ходу деталями (маховик и др.),



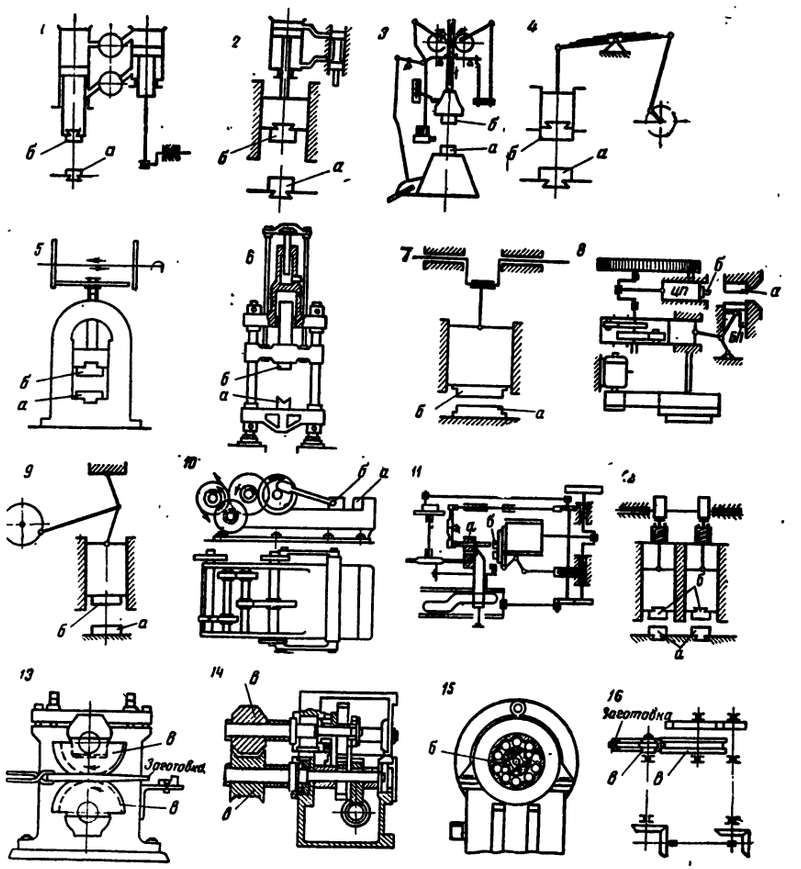


Рис. 338. Схемы основных типов машин-орудий, применяемых для ковки и штамповки:

первая группа — ковочные и штамповочные молоты: *1* — пневматический, *2* — паровоздушные ковочный и штамповочный; *3* — фрикционный штамповочный; *4* — рычажный ковочный; *5* — винтовой фрикционный пресс; вторая группа; *6* — гидравлические прессы; третья группа — кривошипные машины; *7* — кривошипный штамповочный пресс; *8* — горизонтальная ковочная машина; *9* — чеканочный пресс; *10* — горизонтальная гибочная машина; *11* — двуударный высадочный автомат; *12* — ковочная машина, кулачковая вертикальная; четвертая группа — ротационные машины; *13* — ковочные вальцы; *14* — гибочная роликовая машина; *15* — обжимная машина; *16* — раскаточная машина; *а* — неподвижная часть инструмента; *б* — подвижная часть инструмента; *в* — вращающийся инструмент

и частично за счет энергии, подводимой в процессе деформации. Применяются кривошипные машины для разнообразных штамповочных операций, и некоторые типы машин используются для ковки. Ротационные машины (IV группа, рис. 337 и 338, *13—16*)

объединяют различные штамповочные механизмы, у которых рабочий инструмент имеет вращательное движение. Энергия, расходуемая на деформацию металла этими машинами, подводится в течение всего периода обработки металла.

В типовые схемы кузнечных машин (рис. 338) не вошли многие машины-орудия, не получившие пока широкого распространения (бесшаботные, гидравлические молоты, гидромеханические и реечные прессы и другие машины), а также большая группа узкоспециализированных машин-орудий.

Приведенное разделение машин на 4 группы оправдывается общностью их кинематических характеристик.

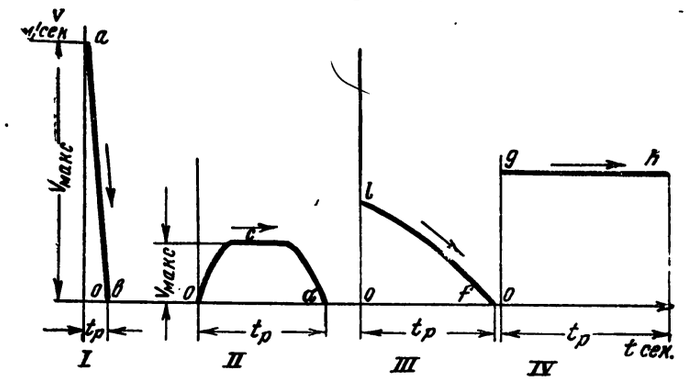



Рис. 339. Типовые диаграммы скоростей рабочего хода различных типов машин-орудий, применяемых для ковки и штамповки:

*I* — молоты; *II* — гидравлические прессы; *III* — кривошипные прессы; *IV* — ротационные машины [А. И. Зимин]

Кривая скорости $v$ рабочего хода молотов (рис. 339, *I*) изменяется от максимума в точке *а* до нуля в точке *в* за чрезвычайно короткий промежуток времени $t_р$. Максимальная скорость $v_{макс}$ имеет место в момент соприкосновения бойка молота с заготовкой и для молотов различной конструкции колеблется в пределах 4,5 ÷ 7,5 *м/сек*. Время деформации $t_р$ исчисляется сотыми и даже тысячными долями секунды в зависимости от сопротивления деформации металла, веса падающих частей молота и их скорости в момент удара. По этим же причинам кривая *ав* может иметь различный наклон при том же ее характере.

Кривая *ocd* изменения скоростей гидравлического пресса (рис. 339, *II*) может значительно изменяться в зависимости от сопротивления деформации. Начальная скорость рабочего хода у прессов равна нулю. Скорость рабочего хода у гидравлических прессов достигает 0,3 *м/сек*.

Кривая скоростей кривошипных прессов и машин (рис. 339, *III*), в отличие от предыдущих случаев, изменяется по постоянной для данной машины кривой *lf*. Скорость рабочего хода данной машины, таким образом, не зависит от сопротивления деформации и определяется особенностями кривошипного механизма. Практически наибольшие скорости движения рабочих частей кривошипных машин (в момент начала деформации) составляют 0,2—0,5 *м/сек*, причем наибольшая величина рабочего хода колеблется в пределах 30—60% от прямого хода машины.



Ротационные машины обладают постоянной окружной скоростью движения рабочих органов, что и показано на диаграмме (рис. 339, *IV*) линией *g — h*. Время деформации металла $t_р$ в этом случае зависит от размеров заготовки, величины деформации, размеров и скорости движения инструмента.

Для ковки и штамповки применяются различные машины.

К о в о ч н ы е м а ш и н ы позволяют иметь свободный доступ к рабочему пространству со всех сторон для совершения многочисленных и разнообразных манипуляций с заготовкой в процессе ее ковки.

Ш т а м п о в о ч н ы е м а ш и н ы обеспечивают необходимую точность совпадения частей штампа в процессе штамповки и с этой целью снабжены более совершенными направляющими устройствами рабочих органов.

1. М о л о т ы предназначаются как для ковки, так и для штамповки, они характеризуются ударным воздействием инструмента на деформируемый металл и имеют следующие составные части: 1) фундамент, 2) шабот с рабочим инструментом, 3) станину молота, 4) падающие части, основной деталью которых является баба молота, и 5) детали управления. Рабочий инструмент состоит из неподвижной части, закрепляемой на шаботе, и подвижной части, закрепляемой на бабе молота. Молоты, которые при ударе имеют энергию, накопленную только от свободного падения падающих частей, называются м о л о т а м и п р о с т о г о д е й с т в и я. Эти молоты применяются в настоящее время только для штамповки. Остальные конструкции молотов устроены так, что движение их падающих частей ускоряется принудительно, это — м о л о т ы д в о й н о г о д е й с т в и я. Скорость падения у этих молотов больше, чем у молотов простого действия.

Размеры молотов характеризуются весом их падающих частей. Применяют молоты весом падающих частей от 25 до 30 000 *кг*.

Паро-воздушный ковочный молот (рис. 340, *I*), как и все другие ковочные,— двойного действия. Пар давлением 5—12 *атм* или воздух давлением свыше 5 *атм* подается от общецеховой магистрали через золотниковое устройство *1* в цилиндр *2* молота. Поршень *3* соединен штоком с бабой *4* молота, на которой закреплен клином подвижный боек *б*. Неподвижный боек *а* через подушку клином укреплен на шаботе *5* молота, который покоится на отдельной части фундамента. Две станины *6* молота укреплены на другой части фундамента. С правой стороны молота видны рычаги управления. Эти молоты строятся с весом падающих частей до 6000 *кг* и в виде исключения большей величины. К весу падающих частей относится баба, боек и шток с поршнем. Наибольший вес обрабатываемых под молотами слитков не превышает 2—3 *т*.

Рабочий цикл паро-воздушного молота состоит из управляемых ударов различной энергии, подъемов, удержания бабы на весу

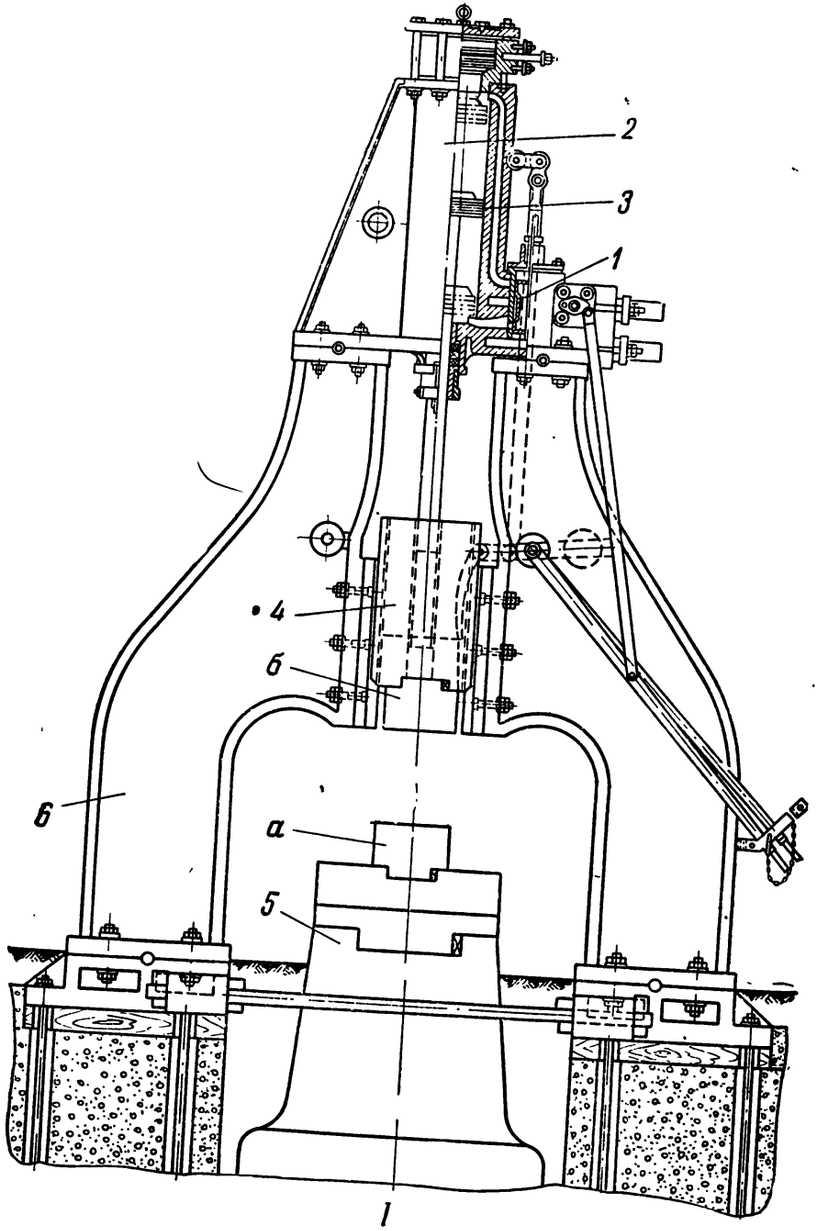


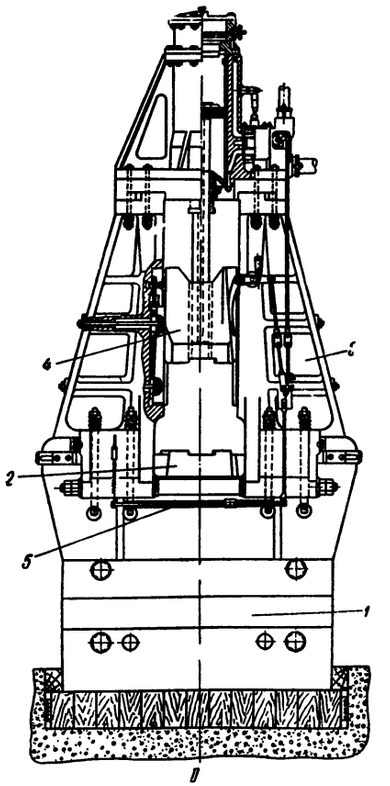

Рис. 340 Устройство паро
*I* — ковочный;



и постепенного опускания бабы вниз. Пораспределительное устройство представляет собой золотник (реже клапанную коробку) с возвратно-поступательным, а иногда с вращательным движением. Кроме описанных, распространены ковочные молоты мостового типа с широко расставленными стойками, одностоечные молоты и др. Вес шабота ковочных молотов обычно превышает вес падающих частей в 15 раз.

Паро-воздушный штамповочный молот (рис. 340, *II*) для получения более жесткого удара имеет шабот *1* более массивный. Вес его превышает вес падающих частей в 20—30 раз.

Большой величины шабот *1* размещает на себе не только подушку *2* для нижней части штампа, но и обе стойки *3* молота, которые для эластичности соединения скреплены с шаботом болтами с пружинами. Баба *4* молота, на которой укрепляют верхнюю часть штампа, перемещается в регулируемых направляющих, расположенных в обеих стойках, что обеспечивает точность совпадения частей штампа при ударе. Управление молотом производится от педали *5*, так как у штамповочных молотов машинистом является сам штамповщик.

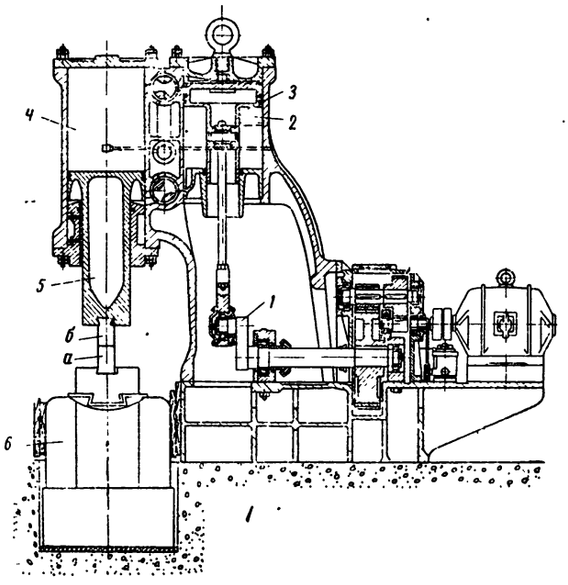


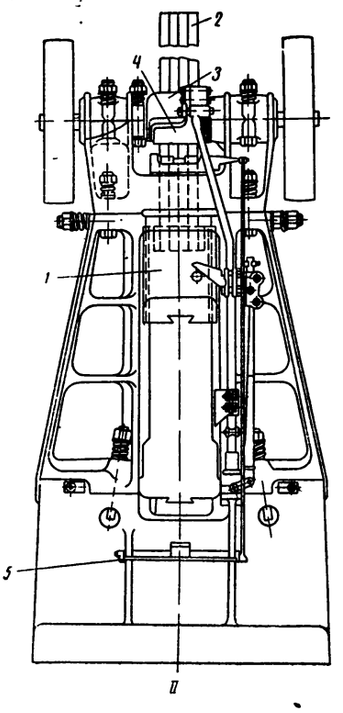

воздушных молотов:
*II* — штамповочный

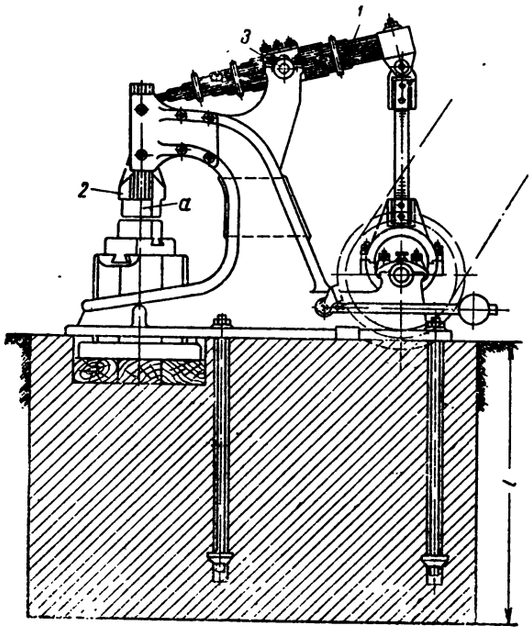
Вес падающих частей этих молотов достигает 30 *т*; обрабатываемые поковки достигают веса в сотни килограммов и в отдельных случаях — более тонны; количество полных ударов у паро-воздушных молотов исчисляется несколькими десятками в минуту.

Пневматические молоты (рис. 341, *I*) за немногими исключениями предназначены для свободной ковки, они имеют индивидуальный привод от двигателя.

Двигатель обеспечивает движение кривошипно-шатунного механизма *1*, сообщающего возвратно-поступательное движение поршню *2* индивидуального компрессора. Между цилиндром *3* компрессора и цилиндром *4* молота помещается воздухораспределительное устройство, которое сообщает цилиндр компрессора



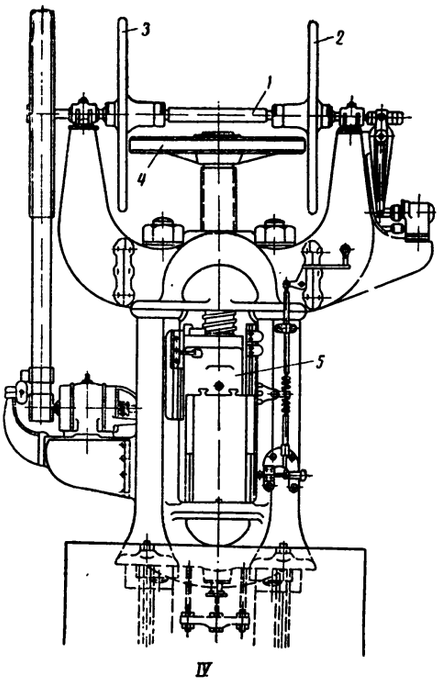




Рис. 341. Устройство молотов различных конструкций

с цилиндром молота. В цилиндре *4* молота перемещается поршень, выполненный заодно с бабой *5*, на нижнем конце которого укреплен верхний боек *б*. Нижний боек *а* укреплен через промежуточную подушку на шаботе *6* молота. Компрессор молота при помощи распределительного устройства обеспечивает подвод воздуха под поршень молота и при этом происходит подъем бабы, или подвод воздуха над поршнем в момент падения бабы молота. Это же устройство позволяет при необходимости удерживать бабу на весу и опустить ее вниз без удара.

Эти молоты имеют вес падающих частей до 3000 *кг*, однако в СССР наиболее распространены молоты с весом падающих частей до 1000 *кг*, изготовляемые по ОСТ 712—41.

Фрикционные молоты предназначены для штамповки и относятся к молотам простого действия.

Молот с доской (рис. 341, *II*) устроен следующим образом. Баба *1* молота соединена с деревянной доской *2*; в верхней части станины расположены принудительно вращающиеся чугунные ролики *3*, причем один из них может, кроме того, приближаться к доске *2* и тогда оба ролика силой трения могут поднимать доску, а следовательно, и бабу; при отводе ролика от доски баба падает, производя удар закрепленным на ней штампом (на рис. 341, *II* штампы сняты и видны лишь пазы в виде ласточкиного хвоста для их закрепления).

Соответствующее управление позволяет осуществить единичные и автоматические удары, а также удерживать бабу на весу. После удара ролики вновь захватывают доску и силой трения увлекают ее вместе с бабой вверх. Кроме роликов молот снабжен тормозными колодками *4*, предназначенными для удержания бабы на весу. Одна из колодок управляется через систему рычагов от педали *5*. Таким образом, очередной единичный удар может произойти только после нажатия педали. Для автоматических ударов необходимо, чтобы педаль была нажата все время.

Тихоходность (до 40 ударов в минуту) и невозможность изменять энергию удара бабы (высоту ее подъема) в процессе штамповки являются крупными недостатками этих молотов.

Вес падающих частей этих молотов составляет 0,5—2 *т*. Однако известны и более крупные молоты с доской (до 5 *т*). Малая стойкость досок (40—60 час.) также неудобна в производстве, смена доски отнимает 15—20 мин. Эти молоты применяются для штамповки, когда не требуется большой частоты ударов и есть возможность деформировать металл вблизи центра штампов. Эффективный к. п. д. фрикционных молотов 30—35% (в СССР их строят по ГОСТ 957—41) [1].

Рычажные молоты существуют нескольких типов.

На рис. 341, *III* приведена конструкция рессорного молота. Рычаг-рессора *1* качается относительно неподвижного шарнира *3*; один конец рессоры соединен с бабой *2* молота, а другой — с шатуном кривошипной системы, получающей движение от двигателя; при вращении кривошипно-шатунного механизма конец рессоры, соединенный с шатуном, то поднимается, то опускается, и при этом боёк *а* молота совершает удары; рессора, будучи упругой, получает некоторый прогиб при резком подъеме бабы вверх; при ударе упругие силы распрямляющейся рессоры ускоряют падение бабы.

[1] Эффективным к. п. д. молота называется отношение энергии, затрачиваемой на деформацию, к энергии, подводимой к молоту.



Рычажные молоты строят с весом падающих частей в пределах 30—250 *кг*, т. е. это мелкие молоты, но очень быстроходные (число ударов 125—300 в минуту). Обычно эти молоты устанавливают в инструментальных и ремонтных кузнечных цехах.

По характеру действия к молотам примыкают винтовые прессы, которые применяются для горячей штамповки поковок преимущественно типа тел вращения из мерных заготовок. В верхней части станины помещается гайка, в которую ввинчивается винт при опускании ползуна и вывинчивается при его подъеме. Наиболее распространенным винтовым прессом является фрикционный пресс, у которого вращение винта осуществляется силами трения от вращения перпендикулярно расположенных дисков (рис. 341, *IV*).

Вал *1*, на котором расположены ведущие диски *2* и *3*, может передвигаться при помощи отводки вдоль своей оси, при этом к ободу маховика *4* будет поочередно прижиматься то диск *2*, то диск *3* и ползун *5* соответственно будет совершать то подъем, то опускание.

Накопленная энергия свободно падающими частями молота (молоты простого действия) в момент удара составляет

$$A_0 = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{Gv_0^2}{2g}, \qquad (152)$$

где $G$ — вес падающих частей молота (по паспорту);
$m$ — масса падающих частей;
$g$ — ускорение силы тяжести;
$v_0$ — скорость падения бабы молота простого действия; $v_0 = \sqrt{1{,}8\,gH_м}$ (практически 4,5—6 *м/сек*);
$H_м$ — высота падения бабы (коэффициент 1,8 вместо 2 учитывает потери на трение).

Молоты двойного действия вследствие принудительного движения бабы вниз (со скоростью 6—7,5 *м/сек*) дают повышенную (примерно в 1,5 раза) энергию удара и могут иметь меньшую высоту $H$ падения бабы, что позволяет строить более низкие и тем самым более дешевые кузнечные цехи.

При ударе основная часть энергии расходуется на деформацию металла, остальная ее часть теряется на упругие деформации деталей молота и инструмента. Таким образом, работа деформации $A_{уд}$ будет за удар составлять часть энергии удара $A_0$:

$$A_{уд} = \eta A_0, \qquad (153)$$

где $\eta$ — к. п. д. удара, равный 0,8—0,9.

Зная энергию удара $A_0$ и число ударов в минуту $n$, можно определить и эффективную мощность молота

$$N = \frac{A_0 n}{60 \cdot 75}\ л.с. \qquad (154)$$

Для практических целей размеры молотов определяют не по их мощности, а по весу падающих частей, являющемуся основной характеристикой молотов. Средний расход пара молотами составляет на 1 *кгм* энергии удара 0,00011 *кг/кгм*; при работе воздухом этот расход составляет 0,00014 $м^3$ на 1 *кгм* энергии удара. Полезное использование пара на молоте (по топливу для парового котла) составляет всего 2%. При использовании отработанного пара (например, в турбины низкого давления, теплофикация и т. п.) можно поднять используемую энергию до 22%. При работе воздухом к. п. д. молота составляет 3,8%. При подогреве воздуха (например, отходящими печными газами) можно получить экономию в расходе электроэнергии и повысить к. п. д. молота до 4,6% (по данным В. И. Залесского).

Гидравлические прессы. Для свободной ковки вес падающих частей молотов ограничивается 5—6 *т*. Ковочные прессы устанавливаются при необходимости иметь более мощные машины-орудия.

Наибольший вес слитков, обрабатываемых на 5—6-тонных молотах, составляет 2,0—3 *т*. Такие же слитки могут быть прокованы под 600—800-тонным прессом. Слитки весом в 150—200 *т* обрабатываются под прессом силой 10 000 *т*. Для ковки применяются прессы давлением до 20 000 *т* и более, а для штамповки — усилием от 300 до 50 000 *т*. Рабочей жидкостью гидравлических кузнечных прессов является вода (подмыленная для уменьшения ржавления частей пресса) и реже масло.

Прессы имеют два вида цилиндров (рис. 342, *I*): рабочий цилиндр *1* и подъемные цилиндры *7*. Рабочий цилиндр имеет относительно большой диаметр. Число рабочих цилиндров 1—4 и больше, подъемных 1—2. В цилиндре пресса движутся плунжеры (в отличие от поршней плунжеры работают в одном направлении).

Станину пресса составляют детали верхней и нижней плит *3* и *5* с колоннами *4*. При движении подвижной поперечины *6* пресса вниз, работает рабочий цилиндр *1* с плунжером *2*. При подъеме поперечины *6* работают подъемные цилиндры *7* с плунжерами *8*, которые соединены с поперечинами *9* и через тяги *10* с поперечиной *6*.

Гидравлический пресс для штамповки (рис. 342, *II*) имеет аналогичное устройство. Штамповочные прессы снабжаются выталкивателями поковок *а* из штампов; они могут иметь также выдвижной стол для удобства установки нижнего рабочего инструмента и некоторые другие приспособления. Гидравлические прессы распространены для различных ковочных и штамповочных работ, применяются ковочные, горячештамповочные, листоштамповочные, прошивные, протяжные и другие прессы.

Гидравлическая установка включает: 1) сеть низкого давления (1—12 *атм*); 2) насосную установку; 3) сеть высокого давления (200—500 *атм*) и 4) собственно пресс. Существуют гидропрессы с насосным, насосно-аккумуляторным и мультипликаторным приводами.



Аккумулятор прессовой установки служит для накопления напорной жидкости (подаваемой насосами) и питания прессов во время их работы. Благодаря аккумуляторам насосы работают с одинаковой нагрузкой; кроме того, аккумуляторы регулируют давление в сети.

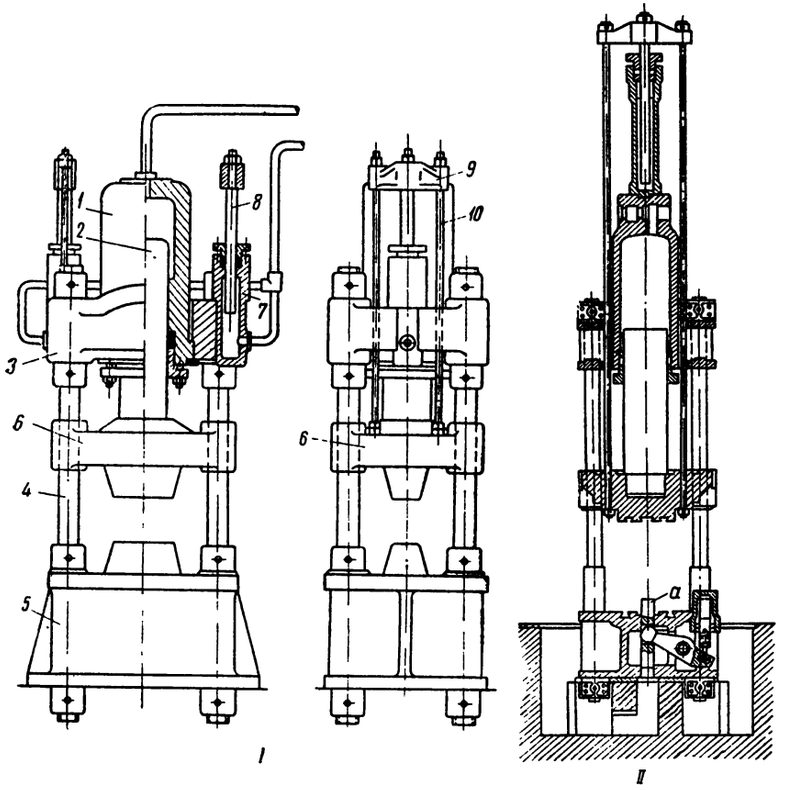



Рис. 342. Устройство гидравлических прессов

Существуют два основных типа аккумуляторов: воздушные (поршневые и беспоршневые) и грузовые. Наиболее распространены воздушные беспоршневые аккумуляторы (рис. 343, *I*), состоящие из резервуара для жидкости и соединенных с ним нескольких воздушных резервуаров. Воздушные резервуары заполнены сжатым воздухом, создающим давление на поверхность жидкости.

Грузовые аккумуляторы, давление в которых вызывается грузом, подвешенным к коромыслу плунжера аккумулятора (рис. 343, *II*), применяются только для обслуживания штамповочных прессов. Вследствие вредного действия гидравлических ударов в сети они непригодны при работе пресса с быстрыми, короткими и частыми ходами. Так называемый мультипликатор (рис. 343, *III*) обеспечивает подачу в цилиндр пресса жидкости повышенного давления, причем коэффициент мультипликации, т. е. повышения давления, составляет 40—60. Мультипликаторы бывают паро-воздушные, гидравлические и механические.

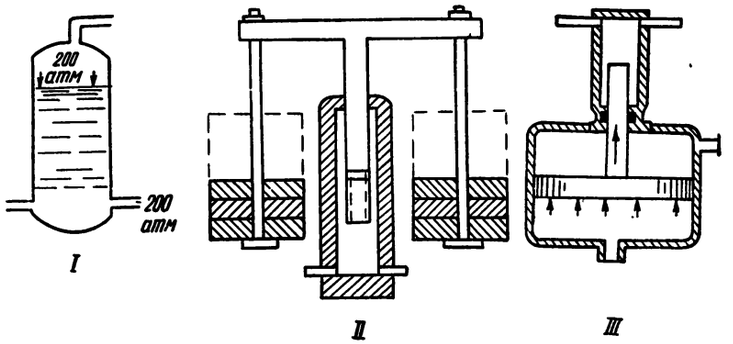



Рис. 343. Схема аккумуляторов и мультипликатора:
*I* — беспоршневый пневматический аккумулятор; *II* — грузовой аккумулятор; *III* — мультипликатор

Паро-гидравлические прессы и гидравлические прессы с насосно-аккумуляторным приводом применяются для ковки. Для штамповки применяются прессы с насосно-аккумуляторным приводом и безаккумуляторные, действующие непосредственно от насосов плунжерного типа или ротационных. Последние модели этих прессов быстроходны и применимы для горячей и особенно холодной штамповки.

Максимальное усилие $P$, которое может развить пресс, можно определить по формуле

$$P = \eta \Sigma F p_{раб}, \qquad (155)$$

где $\eta$ — к. п. д. цилиндра пресса, равный 0,8—0,9;
$\Sigma F$ — сумма площадей всех рабочих цилиндров; если пресс имеет один цилиндр, то $\Sigma F = \frac{\pi D^2}{4}$;
$p_{раб}$ — рабочее давление: у гидравлических прессов 200 *атм*, у паро-гидравлических ~ 400 *атм*.

Таким образом, при одинаковой силе пресса диаметр рабочего цилиндра паро-гидравлического пресса будет меньше.



Рабочий цикл гидравлических прессов включает:
1) опускание поперечины до посадки бойка на заготовку (холостой ход);
2) рабочий ход (прессование);
3) обратный ход;
4) держание поперечины на весу (стоп).

Скорости движения при совершении различных этапов рабочего цикла неодинаковы: опускание и подъем совершаются с наибольшими скоростями, скорости пресса в период рабочего хода составляют 30—200 *мм/сек*.

Для сравнения технологических возможностей молотов и гидравлических прессов свободной ковки может служить табл. 28 (по В. И. Залесскому).

*Таблица 28*

**Сравнение молотов и прессов для свободной ковки слитков**

| Наибольший диаметр слитка *мм* | Тоннаж | | Наибольший диаметр слитка *мм* | Тоннаж | |
|---|---|---|---|---|---|
| | пресса | молота | | пресса | молота |
| 150 | 150 | 0,75 | 900 | 1500 | 20 |
| 200 | 200 | 1,00 | 1200 | 2000 | 40 |
| 250 | 300 | 2,00 | 1500 | 3000 | 80 |
| 300 | 400 | 3,00 | 1800 | 4000 | 120 |
| 350 | 500 | 4,00 | 1950 | 4500 | — |
| 400 | 600 | 5,0 | 2100 | 5000 | — |
| 500 | 800 | 7,0 | 2400 | 6000 | — |
| 600 | 1000 | 10,0 | более | 10000 | — |
| 750 | 1200 | 15,0 | 2400 | 15000 | — |

Примечание. Для свободной ковки молоты более 5—6 *т* в настоящее время не применяются. Указанные в таблице размеры молотов большого тоннажа (до 120 *т*) приводятся по данным прошлого времени.

Кривошипные машины. Разнообразные машины-орудия этой группы (см. рис. 338, *7—12*) относятся к наиболее распространенным в штамповочном производстве; они имеют кривошипношатунный или кулачковый механизм, приводящий в действие основные рабочие органы жесткой кинематической связью. Многие машины этой группы называют прессами, они имеют: 1) привод, включающий двигатель с маховиком, и передаточную систему (обычно движущуюся и на холостом ходу пресса); 2) станину, на которой монтируются все детали пресса; 3) механизмы переключения пресса; 4) систему основных частей пресса, несущих рабочий инструмент; 5) вспомогательные устрой-

ства (механизмы для удержания заготовки, выталкиватели для поковок и т. п.). Большая часть рассматриваемых машин располагается вертикально; к горизонтальным относятся лишь специальные высадочные и гибочные машины.

Горячештамповочные кривошипные прессы относятся к новейшим штамповочным машинам-орудиям (рис. 344, *I*).

Коленчатый вал *1* эксцентрикового типа соединен с коротким шатуном *2*, сопряженным, в свою очередь, с хоботообразным ползуном *3* пресса, в котором закрепляется верхняя подвижная часть штампа. Нижняя часть штампа (штамп на рис. 344, *I* не показан) закрепляется на столе *4* пресса. Машина снабжена верхним и нижним автоматическими выталкивателями *5* и *6*.

Машины имеют клиновидный ременный привод от двигателя, фрикционный механизм включения, тормоз для остановки машины, автоматическую смазочную систему и кнопочное управление. Давление у отдельных прессов (в конце рабочего хода) от 100 до 10 000 *т*.

Во избежание остывания металла в процессе штамповки горячештамповочные прессы быстроходны и делают до 125 ходов в минуту. Штамповка на этих весьма точных машинах происходит с постоянным ходом, причем деформация в каждом ручье осуществляется за один ход.

Обрезные прессы. После горячей штамповки в облойных штампах облой (заусенцы) удаляют преимущественно на кривошипных, так называемых обрезных прессах (рис. 344, *II*), весьма простых по устройству.

Коленчатый вал *1* соединен посредством шатуна *2* с ползуном *3* пресса, на котором при помощи ласточкина хвоста или Т-образных пазов укрепляется верхняя часть обрезного штампа. Нижняя часть штампа закрепляется на столе пресса. В некоторых случаях эти прессы имеют дополнительное эксцентриковое устройство *4*, используемое для гибки, обрезки и других операций, встречающихся при штамповке.

Листоштамповочные кривошипные прессы применяются для вырезки, вырубки, гибки и вытяжки листовых заготовок преимущественно без их нагрева; наиболее просты прессы для вырезки и вырубки плоских заготовок.

Прессы с наклоняемыми станинами (рис. 344, *III*) С-образного вида с усилием от 2 до 200 *т* удобны при изготовлении небольших изделий и являются наиболее распространенными машинами для холодноштамповочных работ. Они имеют регулируемый угол наклона вокруг шарнира *а* и доступны для работы с трех сторон.

Для вытяжных операций применяются прессы закрытого типа (рис. 344, *IV*), доступ к рабочему пространству которых сбоку закрыт стойками. Эти прессы отличаются большей величиной хода, причем могут иметь вал с двумя и тремя коленами (особенно, если пресс предназначен для штамповки изделий больших



размеров). Усилие этих прессов достигает 4500 *т*. Двухкривошипный пресс, изображенный на рис. 344, *IV*, снабжен выталкивателями; стол пресса приспособлен для прижимного пневматического устройства, предохраняющего заготовки от образования складок.

В отличие от описанных прессов простого действия, вытяжные прессы двойного действия (рис. 344, *V*) имеют два входящих один в другой ползуна, из которых внешний *1* осуществляет прижим заготовок *2*, а внутренний *3* — штамповку (вытяжку).

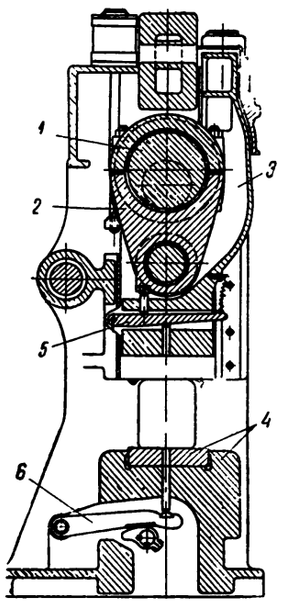
Горизонтально-ковочные машины широко применяются для горячей штамповки изделий из прутков или из мерных заготовок.

Эти машины (см. схему на рис. 338, *8*) имеют горизонтальный кривошипно-шатунный механизм; штампы состоят из пуансонов *б* и матриц *а*, причем пуансоны закреплены в пуансонодержателе на ползуне. Пруток удерживается в матрице силами трения или имеет упор в торец; матрица состоит из двух частей — неподвижной (правой) и подвижной (левой), передвигаемой боковым ходом от кулачков, расположенных на конце коленчатого вала. В момент включения машины получает движение ползун (на схеме *ЦП*) с пуансонами и боковой ползун *БП* с подвижной частью матрицы, причем последняя зажимает пруток раньше, чем пуансоны начнут деформировать металл. При движении пуансонов в обратном направлении (по окончании штамповки) подвижная часть матрицы отходит в исходное положение. На рис. 345, *I* показана горизонтально-ковочная машина в плане. Двигатель *1* посредством клиноременной передачи вращает маховик *2* машины; маховик через зубчатую передачу *3* вращает коленчатый вал, соединенный через шатун с ползуном, на котором закреплены пуансоны *4*. Распорные звенья бокового хода сопряжены в шарнире *5* и передвигают подвижную часть матрицы *6* в направлении стрелки к неподвижной части матрицы *7*. Заготовка помещается между ними в горизонтальном положении, что позволяет применять в качестве заготовок прутки большой длины (до 3—4 *м*).

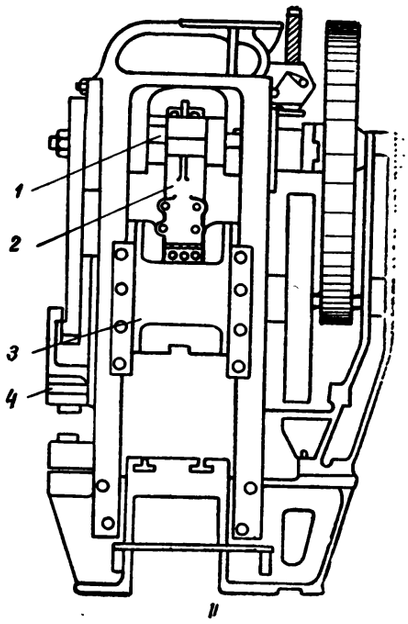
Быстроходность дополняет другие положительные стороны горизонтально-ковочных машин, являющихся одним из наиболее производительных штамповочных механизмов; давление этих машин для самых крупных моделей достигает 3000 *т*.

Чеканочные прессы. После горячей штамповки изделия могут быть дополнительно обработаны давлением для придания им более точных размеров. Для этого применяются чеканочные прессы (рис. 345, *II* и схема на рис. 338, *9*), у которых кривошипный механизм расположен горизонтально и при помощи шатуна *1* движение передается двум распорным звеньям *2* и *3*. При распрямлении звеньев *2* и *3* под действием шатуна ползун *4* пресса опускается, совершая рабочий ход. Эти колено-рычажные прессы строятся с усилием на ползуне от 30 до 2500 *т*.

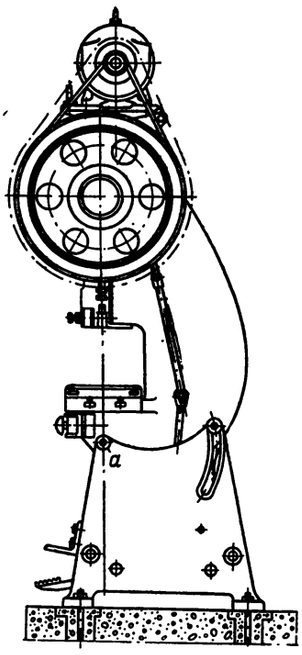
Горизонтально-гибочные машины (бульдозеры, рис. 338, *10*) применяются для гибочных работ в горячем состоянии. Привод машины (рис. 345, *III*) имеет двойную или тройную зубчатую передачу и кривошипно-шатунный механизм, к ползуну которого *а* прикрепляется подвижная часть гибочного штампа (на рисунке не показана).



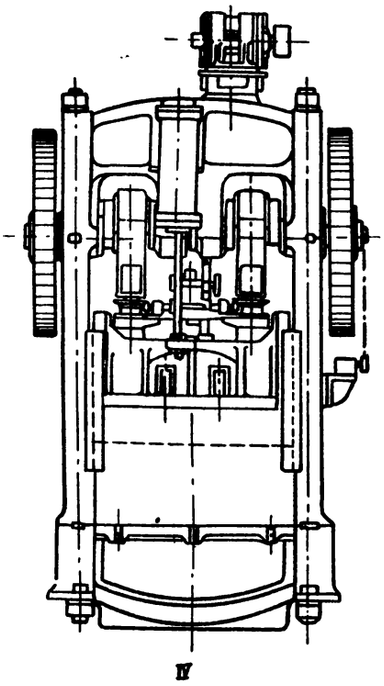

I



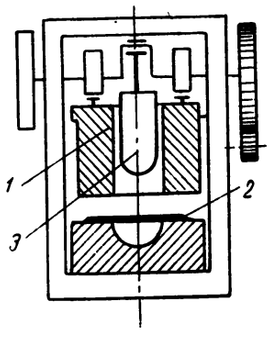

II

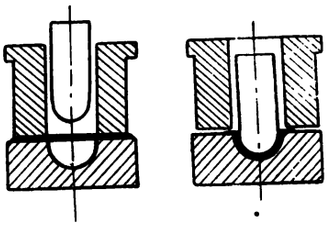



III



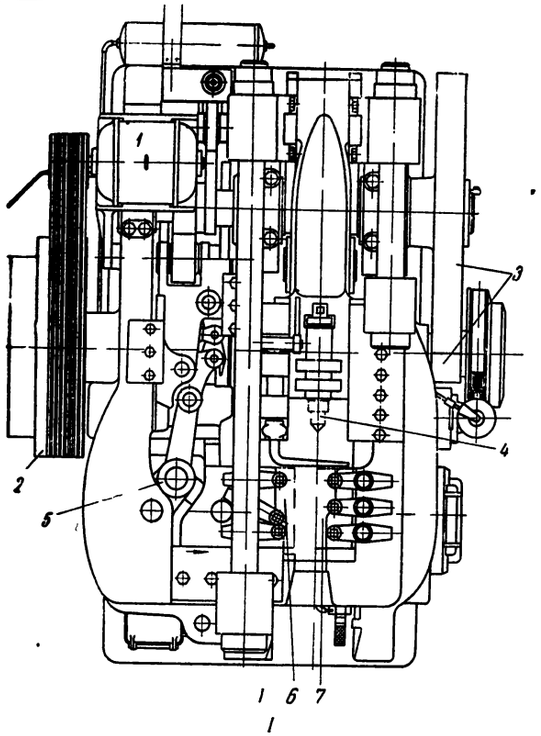
IV



V

Рис. 344. Устройство кривошипных прессов для штамповки




I

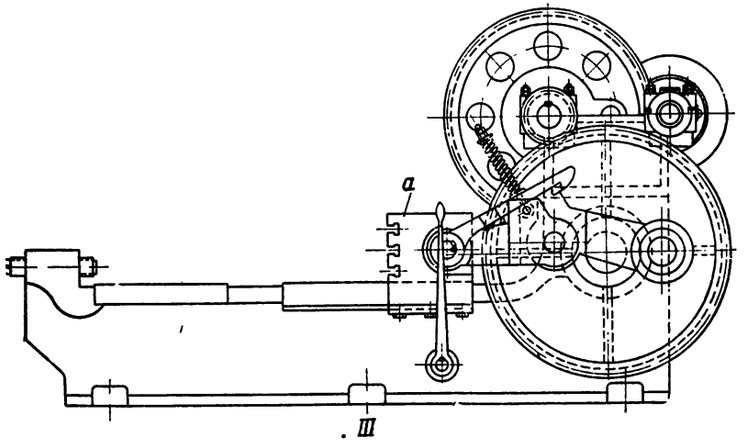
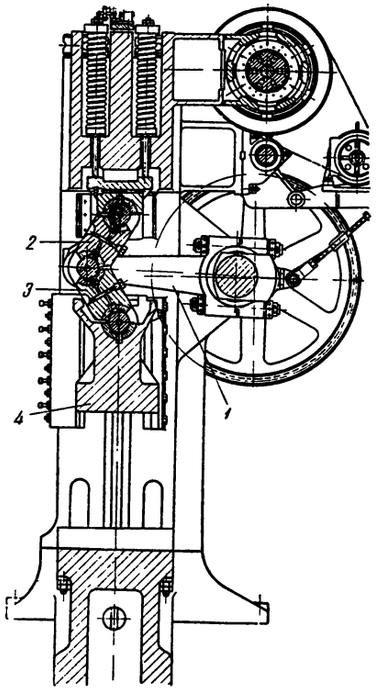
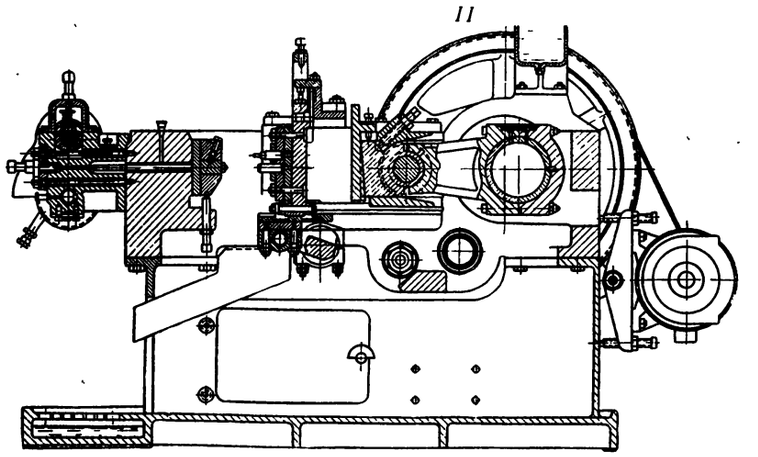



Рис. 345. Устройство штампо
*I* — горизонтально-ковочная машина; *II* — чеканочный пресс;




II



IV

вочных кривошипных машин:
*III* — горизонтально-гибочная машина; *IV* — высадочный автомат

Распространены тихоходные бульдозеры с числом ходов от 6 у самых крупных до 30 у самых малых и быстроходные с числом ходов 45 и 60 в минуту. Усилия, развиваемые тихоходными бульдозерами, доходят до 500 *т*; быстроходные бульдозеры с усилием более 30 *т* не строятся. Среди тихоходных бульдозеров имеются реверсивные, в которых ползун можно останавливать при любом положении кривошипа и передвигать толчками, что весьма удобно при наладке и в работе. Бульдозеры приспособлены для быстрого закрепления и замены штампов больших размеров.

Высадочные автоматы являются полностью автоматизированными штамповочными машинами (см. схему на рис. 338, *11*) для штамповки металла без нагрева (наиболее крупные из этих машин штампуют нагретый металл). Высадочные автоматы могут обрабатывать прутки и проволоку диаметром от 3 до 12 *мм* в холодном состоянии и свыше 12 *мм* в горячем состоянии, с получением готовых изделий за один, два или три удара.

Автоматы относятся к наиболее современным штамповочным механизмам, выпускающим в больших количествах высококачественные изделия большой точности; производительность автоматов доходит до 400 изделий в минуту. Разрез автомата дан на рис. 345, *IV*. Эти машины шатунно-кривошипного типа с горизонтальным расположением рабочих частей.

Вертикальные ковочные машины применяются для изготовления мелких изделий простой формы (схема рис. 338, *12*) весьма быстро ходны, так как делают от 500 до 800 ходов в минуту. Кулачковый привод ползунов через шатуны позволяет иметь на одной машине несколько (обычно 2—3) пар фасонных бойков, в которых и производят ковку изделий.

Кривошипную машину можно подбирать по следующей эмпирической формуле

$$P_{пр} = kd_в^2,$$

где $P_{пр}$ — примерное усилие машины, *т*;
$k$ — коэффициент, равный 0,5 для мелких и до 0,7 для крупных машин;
$d_в$ — диаметр щепки вала, *см*.

При сравнении кривошипных прессов и молотов для штамповки часто пользуются весьма ориентировочным соотношением: 1000 *т* давления пресса равнозначны 1 *т* веса падающих частей молота.

Ротационные машины составляют самостоятельную группу, отличающуюся тем, что их рабочий инструмент движется не возвратно-поступательно как у всех других машин, а вращательно. К этим машинам относятся ковочные вальцы, раскаточные машины, роликовые гибочные машины, пружинно-навивальные машины и некоторые другие.

Ковочные вальцы служат для перераспределения металла по длине заготовки (концы пружин, лопасти пропеллеров и т. д.), а также применяются для штамповки многих мелких изделий простой формы (зубья молотилки и комбайна, рычаги



и т. д). По кинематической схеме (см. рис. 338, *13*) ковочные вальцы сходны с прокатным станом.

Они имеют два рабочих валка *в*, вращающихся в разные стороны от шестеренной передачи. Привод и система управления позволяют осуществлять единичные ходы или подряд любое их количество.

Типичный рабочий инструмент состоит из сегментов, прикрепляемых к вальцам; на этих сегментах, обнимающих половину окружности валка, выполняются углубления по форме изделия, в которые и затекает металл при вальцовке. Закладка заготовки производится в просвет между валками, когда сегменты находятся в наиболее удаленном один от другого положении: сегменты при своем вращении захватывают заготовки и выталкивают ее обратно в сторону рабочего.

Размеры ковочных вальцев определяются наибольшей длиной изделия, практически от 250 до 1250 *мм*. Производительность вальцев зависит от числа их оборотов и числа ручьев (число оборотов валков обычно 25—50 в минуту, а число ручьев — 1—5). Вальцы применяются главным образом для горячей обработки металла.

Гибочные и профилировочные машины применяются для придания листовым или полосовым заготовкам сложного профиля (например, корытообразного, как на схеме рис. 338, *14*). Эти машины обычно имеют не менее трех валков, два из которых (*в*) производят деформацию заготовки, а третий направляет и поддерживает ее (на рис. 338 не показан).

Обжимные машины служат для получения галтелей, конусных утонений и т. п. на прутках и трубах. Схема типичной обжимной ротационной машины представлена на рис. 338, *15*. Внутри барабана, закрепленного в станине машины, вращается шпиндель, в поперечном пазу которого перемещаются бойки *б* машины. При вращении шпинделя бойки под действием центробежных сил расходятся, но, ударяясь при этом о ролики, размещенные в обойме вокруг шпинделя, получают центростремительное движение, которое приводит к деформации металла бойками. Заготовка располагается в пустотелом шпинделе вдоль его оси. Количество ударов пропорционально числу оборотов шпинделя и числу пар роликов в обойме.

Малые машины, обрабатывающие прутки диаметром до 30 *мм* и трубы до 45 *мм*, могут делать до 400 ударов в минуту; крупные машины, обрабатывающие прутки диаметром от 75 *мм* и трубы до 100 *мм*, делают 180 ударов в минуту.

Среди обжимных машин есть такие, у которых шпиндель не вращается, а вращается обойма с роликами.

Раскаточные машины. Эти машины применяются для увеличения диаметра колец и обеспечения у них более точных размеров (кольца подшипников и пр.). Схема раскаточной машины (см. рис. 338, *16*) включает шестеренный привод, рабочие и вспо-

могательные ролики, форма которых обеспечивает получение необходимого профиля поперечного сечения кольца. Раскатка кольца происходит между роликами *в*. На раскаточных машинах раскатывают при высоких температурах кольца диаметром от 30—50 *мм* до 1 *м* и более.

### 121. Оборудование для разделки исходного материала на заготовки

Слитки, а в некоторых случаях и прутки подвергаются разрубке на самих машинах-орудиях, применяемых для их ковки; при штамповке такие исходные материалы, как блумы, прутки, полосы и листы, подвергаются предварительной разделке на мерные заготовки.

Наиболее распространенными машинами для резки являются ножницы разнообразного типа, а также пилы, в том числе гладкие, работающие за счет трения, и пилы, использующие электроэнергию для оплавления разрезаемого металла.

За последнее время получила распространение газовая (огневая) резка металла в струе кислорода. Такая резка может быть ацетиленовой, водородной, бензиновой, керосиновой и пр. Достоинством огневой резки являются дешевизна аппаратуры и эксплуатации, хорошее качество резки и возможность резки по контуру.

Электроискровая резка, уже отмечавшаяся выше, получила распространение в последнее время. Разрезаемый пруток служит одним электродом, а инструмент — другим. Установка для электроискровой резки прутков компактна, проста в обращении, дешева, но по производительности уступает ножницам.

Разделка посредством ломки основана на действии концентрированных напряжений при изгибе надрезанного прутка как в холодном (чаще), так и в нагретом состоянии (300—400°) на гидравлических и кривошипных прессах. Получающийся излом позволяет контролировать качество металла.

К вспомогательным механизмам, применяемым при ковке и штамповке, относятся всякого рода приспособления для перемещения заготовок перед их ковкой, в процессе ковки и после нее, к ним относятся:

1) краны;
2) кантователи;
3) манипуляторы и посадочные машины;
4) прочие средства механизации.

Эти механизмы имеют много общего с механизмами, применяемыми в других производствах, в частности в прокатных цехах (см. главы X и XI), и подробно останавливаться на них мы не будем.



## *Глава XXX*

# ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

### 122. Влияние ковки и штамповки на строение и механические свойства материала изделий

Ковке подвергается литой и катаный металл. При ковке литого металла процессы превращения дендритного строения металла в зернистое и появление волокнистости в общем не отличаются от аналогичных процессов при прокатке металла.

Ковка и штамповка характеризуются очень большой неравномерностью деформации, вызываемой контактным трением и другими факторами, влияющими на распределение деформаций по обрабатываемому телу (см. п. 18).

Для оценки величины деформации при ковке и штамповке применяют коэффициент уковки, который для случая осадки выражается как

$$k_{\text{ос}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{H}{h} > 1.$$

При протяжке, т. е. при продольной деформации, коэффициент уковки есть

$$k_{\text{пр}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} > 1.$$

Подсчет коэффициента уковки ведут по размерам, характеризующим основную деформацию, например при осадке по линейным размерам вдоль осадки (или по площадям, перпендикулярным направлению осадки), при протяжке по линейным размерам вдоль протяжки (или по площадям, перпендикулярным направлению протяжки).

Общий коэффициент уковки за несколько операций определяется произведением частных коэффициентов

$$k_{\text{общ}} = k_1 \cdot k_2 \ldots k_{\cdot}.$$

Общий коэффициент уковки определяет полную степень проковки стали. Эта величина для устранения следов литой структуры и получения хороших для данной стали механических свойств составляет 3—5. На практике впрочем встречаются 10-, 15- и даже 20-кратные уковки (в связи с размерами и формой заготовки и изделий). При помощи коэффициента уковки можно оценить и местную величину деформации при ковке. Например, при протяжке слитков местные показатели уковки (высчитанные по размерам между рисками на расстоянии 10—20 *мм* друг от друга) могут отличаться от средних в несколько раз. Неравномерность деформа-

ции определяет неравномерность строения свойств поковок и приводит к появлению напряжений и даже трещин.

Особенно вредна неравномерность деформации при небольших коэффициентах уковки, что может привести к наличию в металле остатков литой структуры.

Влияние скорости деформации при ковке и штамповке является таким же, как для всех процессов обработки металлов давлением, однако диапазон изменения скорости в данном случае значительно больше.

Методами ковки и штамповки получают изделия самых сложных форм: несимметричные, изогнутые, имеющие отростки, тонкие части и пр., что обусловливает необходимость осуществлять самые сложные деформации путем подбора формы заготовки и инструмента, а также различным расположением заготовки относительно инструмента.

Как и другие виды обработки давлением, ковка-штамповка вызывает образование и перераспределение волокон стали. Для частей машин это крайне существенно, так как механические свойства стали вдоль и поперек волокон не одинаковы (табл. 29), что уже отмечалось ранее (явление анизотропности; в данном случае — анизотропности механических свойств).

*Таблица 29*

**Механические свойства стали марки 45 в зависимости от направления волокон в поковке**

| Направление волокон | Предел прочности $\sigma_{пч}$ кг/мм² | Относительное удлинение $\delta$, % | Поперечное сжатие $\psi$, % | Ударная вязкость $a_k$ кгм/см² |
|---|---|---|---|---|
| Продольное | 71,5 | 17,5 | 62,8 | 6,2 |
| Поперечное | 67,2 | 10,0 | 31,0 | 3,0 |

Зная условия службы изделия, можно определить более выгодное расположение волокон и соответственно построить процесс ковки и штамповки. На рис. 346 показаны различные способы ковки и штамповки одинаковых изделий и получающееся при этом расположение волокон. Волокна в зубьях шестерни, изготовленной из катаного прутка без проковки, направлены так, что зубья могут отламываться вследствие расслоения между волокнами (рис. 346, *I*). В таком же положении оказывается часть зубьев при ковке шестерни из заготовки, положенной плашмя (рис. 346, *II*).



При ковке шестерни путем осадки заготовки в торец зубья получают правильную ориентировку волокон стали, и такая шестерня будет более прочной (рис. 346, *III*).

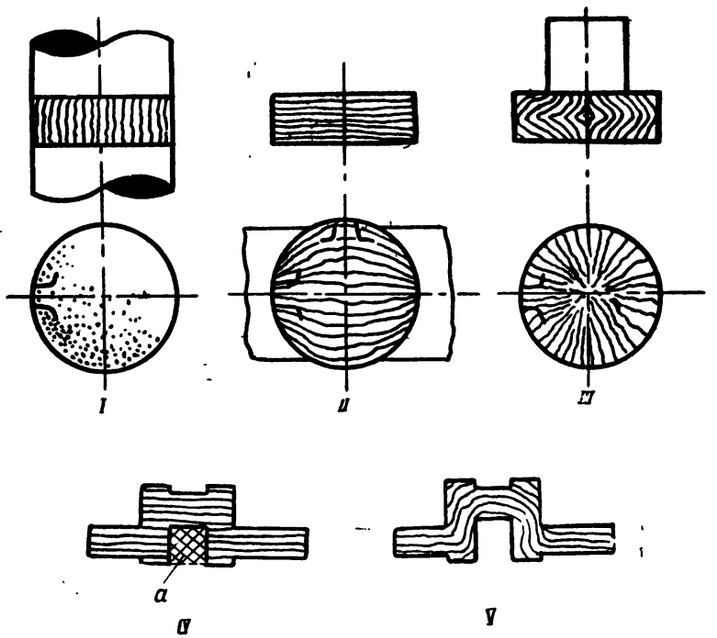



Рис. 346. Расположение волокна в поковках в зависимости от способа их изготовления

На рис. 346, *IV* показано расположение волокон у вала, изготовленного из целой болванки путем вырезки колена *а* (невыгодный случай расположения волокон) и волокон у вала (рис. 346, *V*), изготовленного путем гибки (правильное расположение волокон).

Для получения более прочных изделий часто приходится считаться с усложнением технологического процесса ковки и штамповки. Задачей кузнечного производства является получение частей машин не только необходимой формы, точных размеров и с чистой поверхностью, но и с заданными механическими свойствами в определенных направлениях. При всем этом, конечно, должны достигаться наилучшие технико-экономические показатели производства.

## 123. Свободная ковка

Свободная ковка мелких и средних по весу поковок применяется в случаях, когда обрабатываются небольшие их партии; крупные поковки весом до 250 *т* и более выполнимы только методом свободной ковки.

Исходным материалом при свободной ковке служат слитки, блумы, болванки и прутковые катаные заготовки.

Инструмент, применяемый при свободной ковке, показан на рис. 347 и 348. К закрепляемому инструменту относятся различные формы бойков; остальной инструмент применяется по мере надобности в качестве накладного. Кроме рабочего инструмента применяется вспомогательный, облегчающий различные операции с заготовкой (патроны, вилки, клещи, рис. 348), а также измерительный инструмент (кронциркуль, угольники).

Простейшей операцией при свободной ковке является о с а д к а (рис. 349, I), требующая, чтобы бойки перекрывали заготовку. Как уже было выяснено, вследствие трения ($T$ — силы трения) боковая поверхность осаживаемого образца приобретает бочкообразную форму, что характеризует неравномерность деформации при осадке. Повторяя осадку несколько раз с разных сторон, можно привести заготовку к первоначальной форме или близкой к ней, получив при этом более высокое качество металла и одинаковые его свойства по всем направлениям.

Если осадку производить так, чтобы по высоте деформировалась не вся заготовка (рис. 349, *II*), то операция называется в ы с а д к о й. Высадка может быть осуществлена при нагревании только части заготовки (на конце или, как в данном случае, в середине) либо ограничением деформации на части заготовки кольцевым инструментом $K$ (рис. 349, *III*). Сосредоточить деформацию на части заготовки можно также, нанося много слабых ударов по торцу заготовки (расклепывание).

При помещении заготовки на кольцо $K$ так, чтобы отверстие в кольце перекрывалось заготовкой, будет происходить заполнение металлом отверстия кольца, причем форма поковки будет совпадать с высаженной поковкой.

Если только часть заготовки находится между бойками, причем остальная часть находится за пределами бойка в направлении его ширины $B$ (рис. 349, *IV*), а длина бойка $L$ перекрывает заготовку по ее ширине, то внешний конец заготовки будет препятствовать увеличению ширины заготовки. Если продвинуть заготовку и нанести следующий удар, то деформация будет стеснена внешними частями уже с двух сторон, хотя высота этих частей и неодинакова. Подобная составная операция является п р о т я ж к о й б е з к а н т о в к и; протяжку можно начинать и с середины заготовки (рис. 349, *V*).



Если при протяжке поворачивать заготовку вокруг оси на 90° так, чтобы удары бойков приходились по двум граням заготовки, то такая операция называется п р о т я ж к о й с к а н т о в к о й (рис. 349, *VI*).

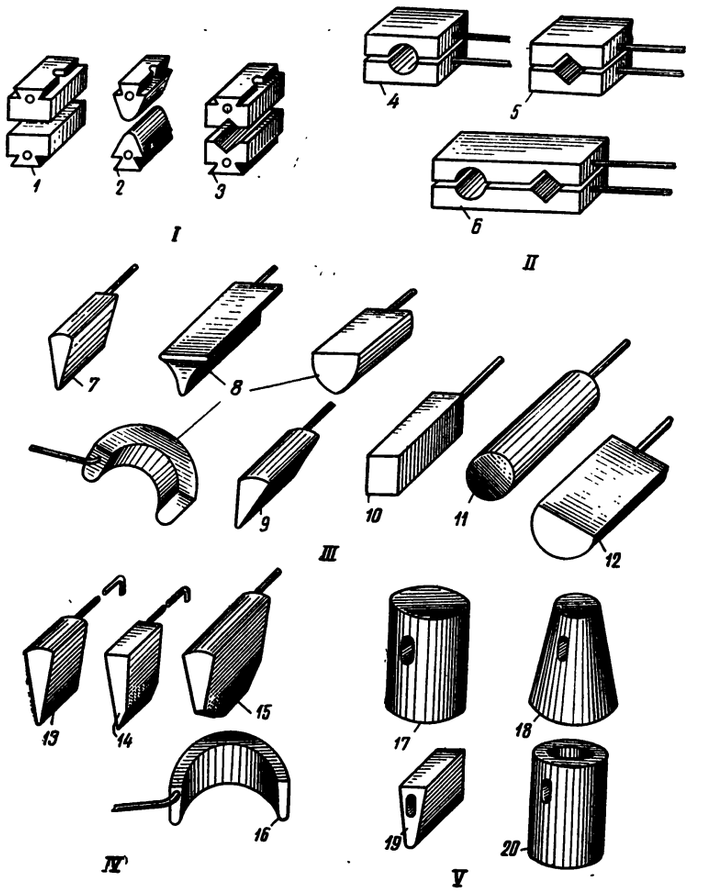



Рис. 347. Инструменты, применяемые при свободной ковке:
*1* — бойки; *1* — плоские, *2* — закругленные, *3* — вырезные; *II* — обжимки: *4* — круглые, *5* — квадратные, *6* — комбинированные; *III* — наметки, пережимки и раскатки: *7* — двухсторонняя; *8* — фасонные, *9* — односторонняя, *10* — квадратная, *11* — круглая, *12* — овальная; *IV* — топоры; *13* — прямой, *14* — односторонний, *15* — трапецоидальный, *16* — фасонный; V — прошивни: *17* — цилиндрический, *18* — конический, *19* — клиновидный, *20* — пустотелый

Чередуя удары с разных сторон, можно получить любую величину деформации и гладкие поверхности у изделий. Хотя при про-

тяжке после поворота (кантовки) полученное ранее уширение и устраняется, все же выгоднее, чтобы при предыдущей протяжке уширение было меньше. Для этого необходимо уменьшение подачи $a$ (рис. 349, *VII*). Для более интенсивной протяжки приме-

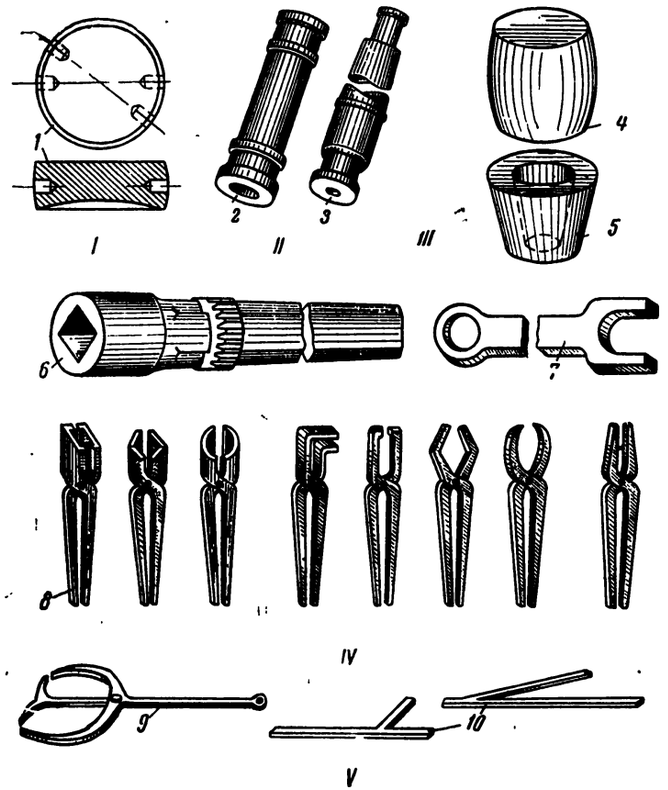



Рис. 348. Инструменты, применяемые при свободной ковке:

*I* — плиты для осадки: *1* — верхние; *II* — оправки раскаточные: *2* — цилиндрическая, *3* — коническая; *III* — калибры: *4* — бочкообразный, *5* — конический; *IV* — захватный инструмент: *6* — патрон, *7* — вилка, *8* — клещи с губками различных форм; *V* — измерительный инструмент: *9* — кронциркуль, *10* — угольники

няют закругленные бойки (см. рис. 347), однако после такой протяжки поверхность заготовки становится ребристой и ее приходится выравнивать между плоскими бойками.

Величина деформации за каждый проход при протяжке должна быть такой, чтобы после кантовки на 90° полоса, поставленная на ребро, не получала продольного изгиба в процессе следующих обжатий. Отношение ширины к высоте сечения заготовки составляет коэффициент перехода φ, который во избежание изгиба заготовки не должен быть более 2—2,5.



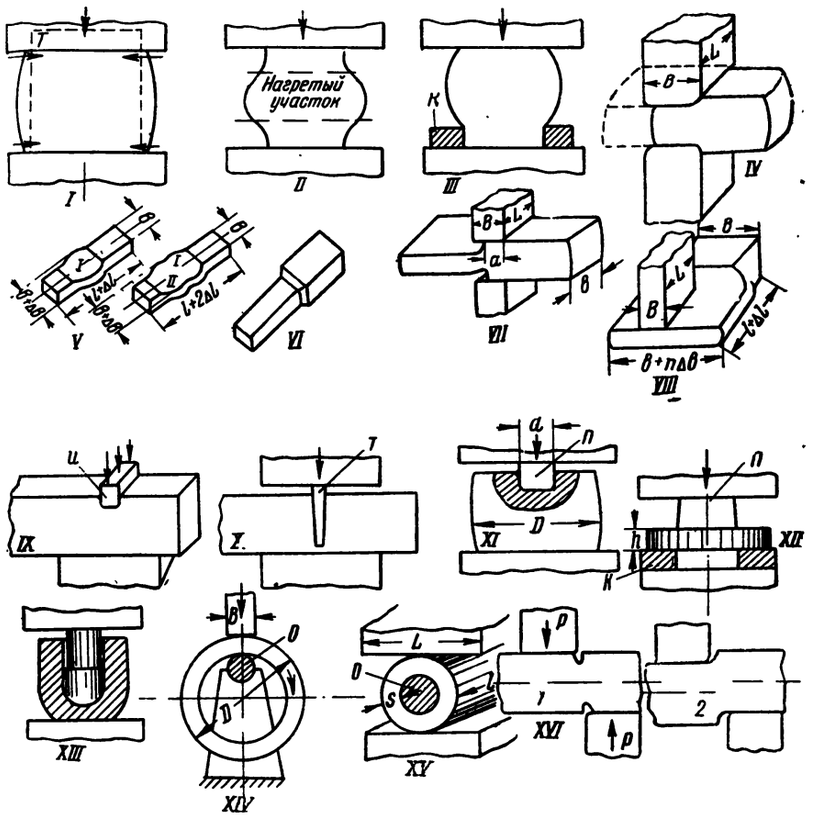



Рис. 349. Операции свободной ковки

Абсолютная величина обжатия при ковке крупных слитков составляет обычно 150—200 *мм*. Коэффициент уковки за каждое обжатие составляет примерно 1,3. Уточнение величин обжатий при протяжке осуществляют в зависимости от величины уширения, которое при данном обжатии зависит от величины подачи и формы бойков. Практически величина подачи $a$ составляет 0,4—0,75 от ширины бойка $B$.

Большая деформация заготовки в направлении ее ширины (рис. 349, *VIII*) достигается перпендикулярным расположением оси заготовки относительно ширины бойков. Эта операция называется разгонкой.

Изменяя форму инструмента, можно существенно влиять на ход процесса. Так, узкий инструмент будет внедряться в тело, раздвигая лишь близлежащие слои металла (рис. 349, *IX*). Эта операция называется пережимом и является подсобной при выполнении более сложных операций; инструмент для пережима может иметь разнообразный профиль (см. рис. 347). При еще большем сужении инструмента можно осуществить операцию разрубки заготовки (рис. 349, *X*). Топоры *T* для рубки могут иметь различную конфигурацию (см. рис. 347), причем для мелких заготовок топор имеет острое лезвие. Если уменьшить размеры инструмента по двум осям, то можно придти к процессу внедрения инструмента *П* в металл, т. е. к прошивке (рис. 349, *XI*).

Различные формы прошивней — инструмента для прошивки — приведены на рис. 347. Если под прошивнем находится тонкий слой металла *h*, то произойдет пробивка заготовки (при свободном выходе отхода внутрь кольца *K*) (рис. 349, *XII*). Пробивка сопровождается разрушением металла (срезом), а не его пластической деформацией, как в случае прошивки. Прошивка больших отверстий *d* по сравнению с сечением заготовки *D* сопровождается частичной осадкой заготовки. Если торец прошивня выполнить вместо плоского закругленным (рис. 349, *XIII*), то осадки может не быть и тогда прошивка сопровождается только деформацией металла в стороны. Чем меньше сечение прошивня по сравнению с сечением заготовки и чем ниже заготовка, тем менее вероятна осадка заготовки в процессе ее прошивки.

Прошитые заготовки подвергаются обработке.

а) Производится операция раскатки заготовки по диаметру *D* (рис. 349, *XIV*), что приводит к утонению кольца и увеличению его диаметра (длина бойков параллельна оси кольца).

б) Осуществляется операция протяжки кольца вдоль оси (рис. 349, *XV*), при которой возрастает длина кольца *l* за счет утонения его стенок *S*. В этом случае кольцо деформируется между двумя бойками и оправкой *O*, проходящей через отверстие заготовки (длина бойков *L* перпендикулярна оси кольца).

К числу более сложных относится операция передачи металла (рис. 349, *XVI*): заготовка предварительно пережимается трехгранной пережимкой с двух сторон (положение *1*). Бойки сдвигаются (у прессов) так, что на заготовку действует пара сил (если бойки не сдвигаются, как у молотов, то применяют соответствующие подкладки, помещаемые на обычных бойках). После передачи металла ось заготовки получает ступенчатое смещение (положение *2*).



Для операции гибки необходимо, чтобы плечо пары сил было более велико; пережимов заготовки при этом не делают.

Для разработки технологического процесса свободной ковки составляют чертеж поковки, отличающийся от чертежа изделия припуском металла на дальнейшую обработку (снятие стружки, окалина) и напуском, т. е. избыточным металлом для упрощения сложных очертаний изделия. Допустимые отклонения от точных, заданных размеров поковки, именуются, как обычно, допусками.

Получив размеры поковки, определяют вес заготовки $Q_з$:

$$Q_з = Q_п + Q_{отх} + Q_{уг} + Q_{обс}, \qquad (157)$$

где $Q_п$ — вес поковки;
$Q_{отх}$ — вес отходов;
$Q_{уг}$ — вес, соответствующий угару;
$Q_{обс}$ — вес отходов при обсечке.

Отходы от слитка составляют 25—35% (прибыль 20—25% и донная часть 5—10%). Угар составляет потери в 2—3% от веса заготовки на каждый нагрев и 1,5—2,0% на каждый подогрев.

Отходы обсечки зависят от сложности поковок и способа их изготовления. Для простых поковок они в сумме не превышают 5—8%, а для отдельных сложных поковок достигают 30%.

При использовании в качестве заготовки блумов или прутковых заготовок отходы от слитка приходятся на прокатный цех.

Следующей задачей разработки технологического процесса является определение размеров заготовки и переходов при ковке, что достигается сопоставлением формы заготовки и готовой поковки, считаясь с необходимостью полной проковки металла (для слитка $K_{общ}$ не менее 3—5 и для проката 1,1—1,3) и стремясь к минимуму операций. В геометрических подсчетах используется уравнение постоянства объема (см. п. 5).

Подбор машин для ковки осуществляют, исходя из необходимости выполнить наиболее тяжелую операцию (п. 22).

Кроме этих основных подсчетов в разработку технологии входят нормирование всех операций, разработка необходимых приспособлений для ковки и калькуляция себестоимости.

Для примера рассмотрим один частный случай — ковку валка для холодной прокатки (рис. 350). Валок отковывается из слитка весом 5150 *кг* (сталь 9Х или 9Х2). Вес поковки 3000 *кг*. Размеры слитка (рис. 350, *I*) выбраны, исходя из того, что слиток (для получения необходимого коэффициента уковки) будет дважды осаживаться. После нагрева слитка на его конце со стороны усадочной раковины оттягивается цапфа под патрон, обжим граней на диаметр 630 *мм* и отрубка донной части слитка (рис. 350, *II*). В данном случае для облегчения манипулирования со слитком применяется патрон (см. рис. 348), а цапфой служит оттянутый конец слитка, который впоследствии удаляется. Для отрубки небольшого участка металла со стороны донной части слитка (30 *мм*) потребуется предварительная пережимка слитка по всему периметру, иначе топор при рубке будет соскальзывать со слитка; эта операция отнимает 40,5 мин.

После подогрева заготовки ее подвергают осадке (точнее — высадке) в кольце. Цапфа помещается в отверстие кольца и не мешает осадке (рис. 350, *III*). Затем следует протяжка слитка (рис. 350, *IV*), причем верх-

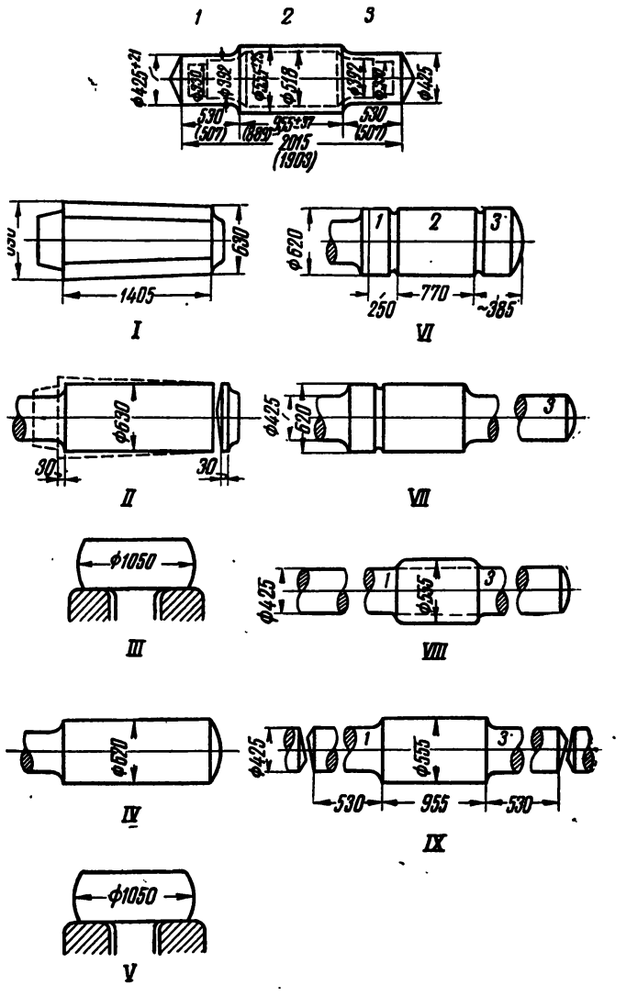



Рис. 350. Ковка валка для холодной прокатки

ний боек плоский, а нижний вырезной (см. рис. 347). Эта операция длится 38 мин. После второго подогрева заготовка вновь осаживается до диаметра 1050 *мм* (рис. 350, *V*), проковывается на диаметр 620 *мм* и на ней делают разметку и наметку частей валка 1, 2 и 3, в соответствии с расчетами объемов (рис. 350, *VI*). Дальнейшая ковка протекает с того же нагрева. Сперва



протягивают участок *3* вала (рис. 350, *VII*), затем участки *1* и *2* (рис. 350, *VIII*), после чего валок сглаживается, подгоняется под размеры и отрубаются излишки металла по концам валка (рис. 350, *IX*). Эта операция длится 108 мин. и заканчивается при температуре 850°. Выход годного

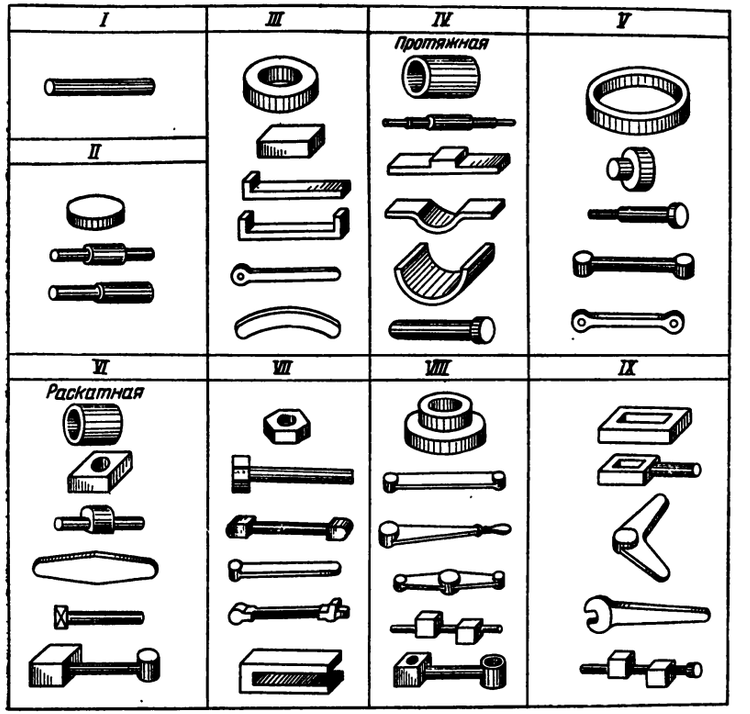



Рис. 351. Типовые поковки, полученные свободной ковкой (9 групп по сложности изготовления)

58,3%. Затраты времени на 1 *т* поковки — 62,2 мин. Ковка производится на прессе 2000 *т*.

Типовые поковки свободной ковки приведены на рис. 351, где они расположены в группы по сложности изготовления.

## 124. Горячая штамповка

При горячей штамповке нагретая заготовка помещается в полость одной части инструмента (штампа), где под воздействием другой части штампа принимает заданную форму. Чем меньше колебания температуры металла в конце штамповки и чем устойчивее размеры штампа, тем меньше отличаются штампованные из-

делия друг от друга. Высокая производительность, хорошее качество поверхности и дешевизна обработки при серийном и массовом производстве дополняют положительные стороны горячей штамповки. К недостаткам горячей штамповки относятся: образование окалины, ухудшающее качества поверхности изделия и дающее угар металла, и высокая стоимость штампов (что делает невыгодной штамповку при небольших партиях одинаковых поковок). Трудность ковки в штампах крупных изделий обусловливает наибольший их вес, который в настоящее время составляет сотни килограммов и только в отдельных случаях — более тонны.

Технологический процесс горячей штамповки включает: 1) разделку прутков на заготовки; 2) нагрев заготовок; 3) штамповку заготовок; 4) первичную термообработку поковок; 5) отделку поковок. В соответствии с этим в штамповочных цехах имеются заготовительное, штамповочное, термическое и очистное отделения.

Исходными материалами для горячей штамповки являются катаная болванка квадратного сечения, сортовой прокат круглого, квадратного, прямоугольного и других сечений, различные профили периодической прокатки и пр. Прокат применяется нормальной и повышенной точности, а также калиброванный (по 5-у, 4-у и 3-у классам точности).

Методы штамповки и разновидности штампов для горячей штамповки. После разделки прутков на заготовки, последние подвергаются нагреву и затем штамповке.

Штампы обычно состоят из двух частей и имеют полость заданной формы, именуемую ручьем штампа. Разъем штампов на составные части должен обеспечивать возможность укладки металла в штамп и его выемки.

Горячая штамповка разделяется на облойную *А* и безоблойную *Б* (рис. 352). В первом случае получается поковка с облоем (заусенцем) по месту разъема штампа, что дает хорошее его заполнение металлом при наличии избытка металла по сравнению с объемом полости штампа. Во втором случае облой не предусматривается и заполнение полости штампа обеспечивается самим его устройством, причем объем заготовки по возможности точно соответствует объему ручья. В обоих случаях различают одноручьевую и многоручьевую штамповку (в подготовительных ручьях форма изделия подготовляется, в чистовом ручье — придается полностью).

Ручьи при многоручьевой штамповке размещаются в одном общем или в нескольких штампах, установленных на однотипном и разнотипном оборудовании (комбинированный процесс штамповки).

Этот процесс штамповки, называемый также расчлененным. Он характеризуется более высокими технико-экономическими показателями; поскольку оборудование может быть использовано более рационально.



Облойная штамповка. При штамповке стали вследствие большей универсальности и простоты осуществления более распространен облойный метод штамповки, несмотря на потери

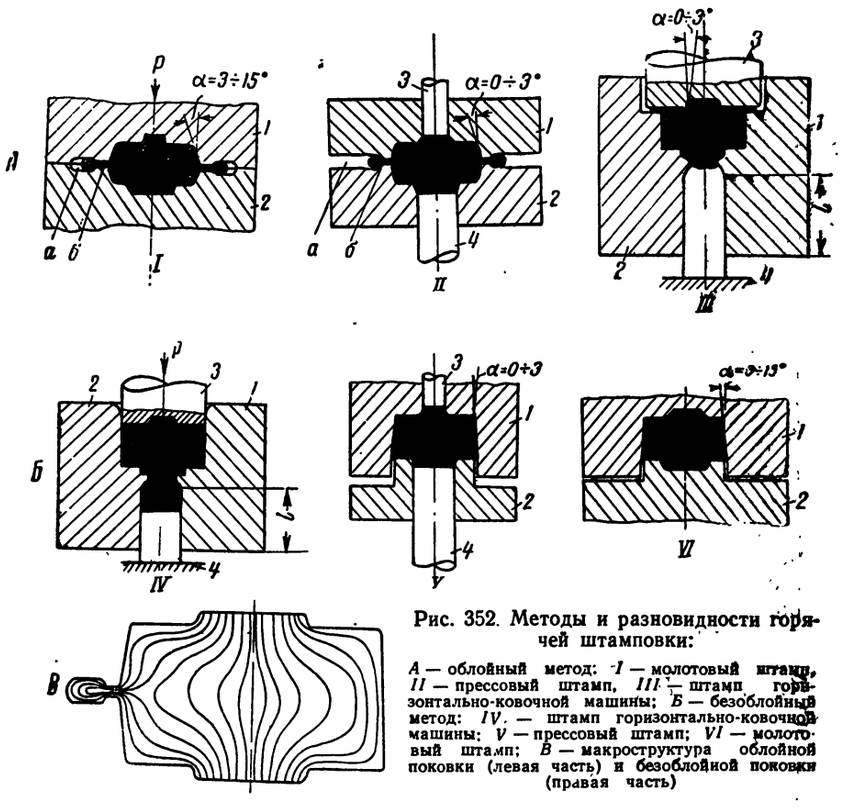



Рис. 352. Методы и разновидности горячей штамповки:

*А* — облойный метод: *I* — молотовый штамп, *II* — прессовый штамп, *III* — штамп горизонтально-ковочной машины; *Б* — безоблойный метод: *IV* — штамп горизонтально-ковочной машины; *V* — прессовый штамп; *VI* — молотовый штамп; *В* — макроструктура облойной поковки (левая часть) и безоблойной поковки (правая часть)

металла в облой. Типичными машинами для этого метода являются молоты простого и двойного действия; применяются также прессы кривошипные, фрикционные и гидравлические (а также горизонтально-ковочные машины). При облойной штамповке на молотах (рис. 352, *I*) заусенец (облой) размещается в канавке, состоящей из магазина *а* и перемычки (щели) *б*, образуемой порогами частей штампа. Металл в этот магазин может попасть из полости штампа, лишь пройдя через сужающуюся в процессе

штамповки щель *б* между порогами штампов. В некоторый момент процесса штамповки сопротивление при вытекании металла в заусенец становится настолько большим, что дальнейшее преимущественное движение его в этом направлении прекращается и происходит заполнение тех мест полости, которые до этого были не заполнены. В этом и состоит смысл работы с облоем. Имея в виду движение металла из полостей в облой, облойные штампы часто называют открытыми.

Объем заготовки при облойной штамповке возможно иметь лишь приблизительно равным заданному, что упрощает разделку прутков на мерные заготовки и не препятствует получению одноименных изделий постоянного веса и размеров.

Для облегчения удаления изделий из штампа все вертикальные грани его полости делают с уклоном $\alpha = 3—15°$ ($\alpha$ тем больше, чем глубже и уже полость штампа). Штамповые уклоны приводят к искажению формы поковок и большим потерям металла при удалении уклонов обработкой резанием, что является крупным недостатком этого вида штамповки. При облойной штамповке на прессах (рис. 352, *II*) удается сокращать уклоны (до $\alpha = 0—3°$) применением специальных выталкивающих механизмов. В верхней части *1* штампа помещается выталкиватель *3* и в нижней части *2* выталкиватель *4*. На рис. 352, *II* показан облойный штамп, применяемый на кривошипных прессах. Облойная канавка этого штампа — открытого типа, так что части штампов *1* и *2* между собой не соприкасаются, во избежание поломки штампов пресса, имеющего неизменный ход. Штамп гидропресса аналогичен по конструкции рассматриваемому, но части его могут непосредственно соприкасаться друг с другом и это как раз определяет конец процесса штамповки.

При штамповке в облойном штампе на горизонтально-ковочной машине штамп состоит из трех частей (рис. 352, *III*). Та часть *3*, которая движется и совершает деформацию, носит название пуансона, а другая часть называется матрицей. Разъем между ними является основным. В матрицу помещается заготовка, причем для удобства ее установки и надежного закрепления в матрице, последняя состоит из двух частей: неподвижной *1* (правой) и подвижной *2* (левой). Движения подвижной части *2* матрицы механизированы. Для штамповки применяются прутковые заготовки, которые удерживаются в полости матрицы силами трения на участке *l*. Если применяются мерные заготовки, то их упирают торцом в упор *4*. Штамповые уклоны у этого штампа применяются только в неразъемных частях полости и составляют $\alpha = 0—3°$.

Облойный штамп горизонтально-ковочных машин (рис. 352, *III*) имеет основной разъем у торца поковки, что способствует созданию более ярко выраженной объемной схемы напряженного состояния при штамповке. При этом хотя сопротивление деформации и повышается, но возрастает и пластичность металла, что особенно важно при штамповке малопластичных металлов и сплавов.



Общие признаки облойного метода штамповки следующие:

1. Наличие специально предусмотренного облоя (заусенца), располагающегося в заусенечной канавке.

2. Выполнение облоем технологических функций по удалению избытка металла из полости штампа и обеспечению герметичности полости в некоторый момент штамповки, что способствует заполнению металлом сложных форм полости штампов.

3. Наличие у штампов плоскостей разъема, расположенных перпендикулярно действующим силам, почему полость штампа в процессе штамповки открыта для удаления избытка металла заготовки. По этой причине рассматриваемые штампы и называют иногда открытыми.

В экономическом отношении облойные (или открытые) штампы не являются совершенными, вследствие больших отходов металла в заусенцы при штамповке в них. Эти отходы составляют 5—100% от веса поковок, и они тем относительно больше, чем сложнее и меньше по весу поковка. Средние потери металла на заусенцы составляют 15—20% от веса поковок. Преимущества этого метода состоят в возможности применять приблизительное отмеривание заготовок по объему, что значительно легче, чем точный их развес.

Облойная штамповка на молотах менее совершенна, чем на прессах, вследствие затруднений в использовании выталкивателей, уменьшающих штамповые уклоны. Однако при штамповке на молоте возможно производить деформацию в одном ручье штампа за много ударов, выполняя, таким образом, большую работу деформации по частям. Это является большим преимуществом при штамповке на молотах крупных поковок. В отдельных случаях штамповку совершают за 25—30 ударов (например, при штамповке больших коленчатых валов), не считаясь при этом с потерей производительности. В случае горячей штамповки поковок в штампах гидропрессов, их тихоходность (по сравнению с молотами) не позволяет производить более нескольких ходов при штамповке одного изделия во избежание остывания металла до температуры ниже допускаемой.

Безоблойная штамповка. Особенно широко распространена штамповка по этому методу на горизонтально-ковочных машинах; она часто применяется на прессах и в самое последнее время осуществлена на молотах.

Во избежание больших потерь на трение сопряжение частей безоблойного штампа по местам разъема происходит с некото-

рым зазором, дающим при избытке металла небольшой заусенец (1—2%) в виде венчика по торцу поковки; при точной дозировке металла заусенец отсутствует вовсе. Так как выход металла из полости безоблойного штампа затруднен, то трехосное сжатие металла в этом случае выражено более ярко, чем при штамповке в штампах с предусмотренным облоем.

Безоблойный штамп горизонтально-ковочных машин (рис. 352, *IV*), состоит из автоматически раскрывающейся матрицы *1—2* и пуансона *3*. Разъем матриц позволяет штамповать поковки от прутка, не разрезая его предварительно на отдельные заготовки (при штамповке пруток удерживается силой трения между частями матрицы на участке длины *l*). Мерные заготовки штампуют с задним упором *4*.

На прессах (кривошипных и гидравлических) штамп (рис. 352, *V*) состоит из двух частей: подвижной *1* и неподвижной *2*. Наличие выталкивателей верхнего *3* и нижнего *4* позволяет работать с небольшими штамповыми уклонами $\alpha$ в пределах 0—3°.

Совсем недавно освоен безоблойный метод штамповки на молотах (рис. 352, *VI*), однако выталкиватели в этом случае обычно отсутствуют, что заставляет применять значительные штамповые уклоны $\alpha = 3 \div 15°$ и в среднем 5—7°.

На этом же рисунке приведена схема *В* расположения волокна в поковке более благоприятного при штамповке в безоблойном штампе (правая половина) и менее благоприятного в случае облойного штампа (левая половина).

Общие признаки безоблойного метода штамповки следующие: 1) отсутствие специально предусмотренного облоя (заусенца); 2) имеющий место на некоторых поковках незначительный облой объясняется несовершенством сочленения частей штампов и образуется лишь при избытке металла в заготовке.

Этот облой технологических функций не выполняет и расположен так, что не может быть срезан в обрезных штампах (он удаляется наждачными кругами или фрезами).

Рассмотренные выше безоблойные штампы называют закрытыми.

К безоблойным штампам могут быть отнесены также штампы для выдавливания (рис. 353 *I, II*) и прошивные штампы гидравлических прессов (рис. 353, *III*). Штампы для выдавливания применяются двух видов, в соответствии со способами выдавливания. Прямое выдавливание, например стебля клапана, происходит в штампе (рис. 353, *I*), состоящем из цельной неподвижной матрицы *1* и подвижного пуансона *2*, который плотно входит в полость матрицы и выдавливает стебель клапана в направлении своего движения. Обратное выдавливание осуществляется в штампе (рис. 353, *II*), который в данном случае имеет



кольцевой зазор между матрицей *1* и пуансоном *2*. В этот зазор и выдавливается металл, причем образуется изделие в форме стакана. Для удаления изделия штамп снабжен выталкивателем *3* и съемником *4*. Штампы, применяемые на гидравлических прессах для глубокой прошивки, имеют подобное же устройство (рис. 353, *III*), для преобладания прошивки над осадкой (с последующим выдавливанием) пуансон заострен. Матрица *1* имеет выталкиватель *2*; съемник *3* центрирует пуансон и снимает с него изделие.

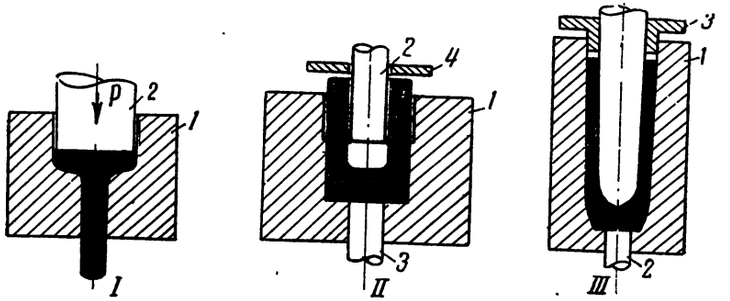



Рис. 353. Штампы:
*I—II* — для выдавливания; *III* — прошивной

Выше рассматривались примеры штамповки лишь в чистовых ручьях.

Многоручьевая штамповка применяется: а) при штамповке поковок сложных форм, когда ряд ручьев дает переход от заготовки к сложной форме изделия; б) при штамповке массивных изделий (простой и сложной формы) из относительно тонких прутков (например, на горизонтально-ковочных машинах), причем подготовительные ручьи служат для постепенного осаживания металла во избежание продольного изгиба при высадке длинной заготовки за один ход.

Определяя метод штамповки и тип штампа, приходится считаться с различными возможными положениями поковки в окончательном ручье штампа. На рис. 354 для трех типовых форм поковок даны два варианта их расположения. Для облойной штамповки на молоте предпочтительнее горизонтальное положение *а*, так как отсутствие выталкивателей приводит к большим штамповым уклонам при штамповке в торец.

На прессах эти поковки удобнее штамповать в торец (положение *б*), что снижает стоимость штампов (вместо фрезеровки может быть использована простая токарная обработка), уменьшает расход металла (заготовка может не быть фасонной), сни-

жает потери на заусенцы вследствие сокращения периметра заусенца при облойной штамповке, улучшает качество изделий вследствие большей равномерности деформаций при равноосной в плане поковке.

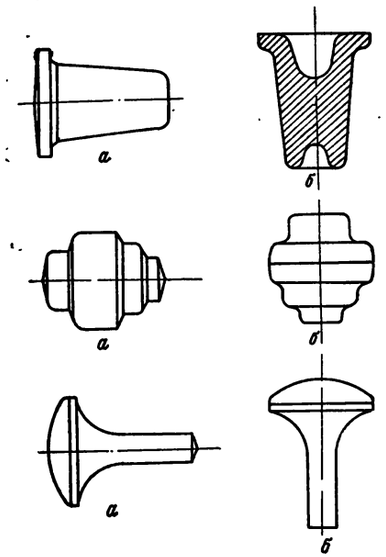



Рис. 354. Возможные положения поковок при штамповке:

*а* — предпочтительно для штамповки в облойном молотовом штампе; *б* — предпочтительно для штамповки в прессовом облойном и безоблойном штампе

Кроме положения поковок при штамповке, метода штамповки и типа штампа, конструкция штампа зависит также от местоположения разъема штампа. Для иллюстрации на рис. 355 приведены варианты (*I*—*IV*) безоблойного штампа горизонтально-ковочной машины для одной и той же поковки (штамповка производится от прутка, т. е. без предварительной разрезки прутка на мерные заготовки).

Только относительно простые формы изделия могут быть получены непосредственно из обычных заготовок в одном ручье штампа. В случаях сложных поковок процесс расчленяется на несколько переходов, осуществляемых в отдельных ручьях, чтобы в целом деформация металла происходила по наиболее коротким путям и с затратой наименьшей работы. Для этого необходимо, чтобы форма переходов была наиболее простой, обеспечивающей естественное изменение очертаний заготовки при превращении ее в поковку, в соответствии с чем определяется количество и форма ручьев многоручьевого штампа.

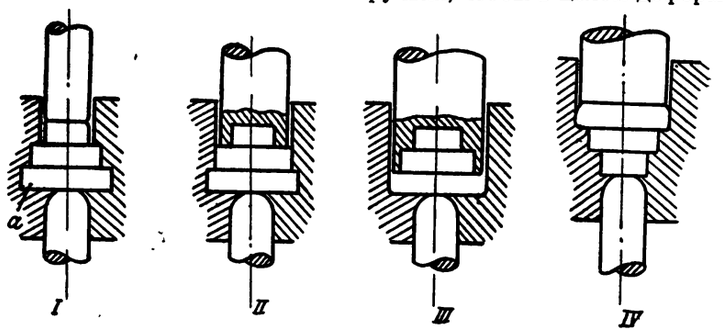



Рис. 355. Варианты оформления полости штампа для одной и той же поковки



Для разнообразных поковок требуется сосредоточивать или рассредоточивать металл в нужном количестве на том или ином участке заготовки, причем простая заготовка, превращаясь в фасонную, может укорачиваться, удлиняться или оставаться неизменной по длине. Подготовительные операции при штамповке могут производиться штамповкой заготовок в торец (продольная штамповка) или перпендикулярно оси заготовок (поперечная штамповка).

При штамповке в торец простейшая подготовительная операция состоит в свободной осадке с целью удаления окалины, уменьшения работы деформации в окончательном ручье, обеспечения устойчивости заготовки, улучшения условий заполнения и повышения стойкости ручья при дальнейшей штамповке. Эта операция применяется на молотах и прессах. На прессах часто применяется осадка с образованием фиксирующих выступов или полостей для устойчивости заготовки в следующих ручьях (*А*, рис. 356, *I*).

При переносе заготовки в следующий (второй) ручей *Б* ее поворачивают выемкой вниз и таким образом фиксируют положение заготовки при формовке. В окончательном (третьем) ручье *В* заготовка штампуется в таком же положении, как в предыдущем.

Особенностью заготовительных операций при торцевой штамповке является общая осадка заготовки, так как обычно исходная заготовка имеет бо́льшую высоту, чем поковка.

При штамповке на горизонтально-ковочных машинах имеется возможность производить высадку на концах длинной заготовки, расположенной горизонтально (*А* и *Б*, рис. 356, *II*). Готовые изделия могут быть отделены от основного прутка в одном из ручьев штампа (*В*, рис. 356, *II*). Подготовительные операции в этом случае производятся для накопления металла (набора) перед формовкой. Часто набор металла осуществляют в ручьях с конической полостью (*А*, рис. 356, *II*).

При поперечной штамповке применяется бо́льше разновидностей подготовительных операций. Необходимое перераспределение объемов металла вдоль оси заготовки выясняется расчетным путем.

Для случая штамповки шатуна *Г* на рис. 356, *III* показаны два пути перераспределения металла вдоль оси заготовки. Условным пунктиром нанесена исходная заготовка для штамповки шатуна. Эта заготовка по объему меньше в головках шатуна и больше в его стебле, но длина ее $L_1$ соответствует длине шатуна. Для получения фасонной заготовки нужной формы (показана сплошной

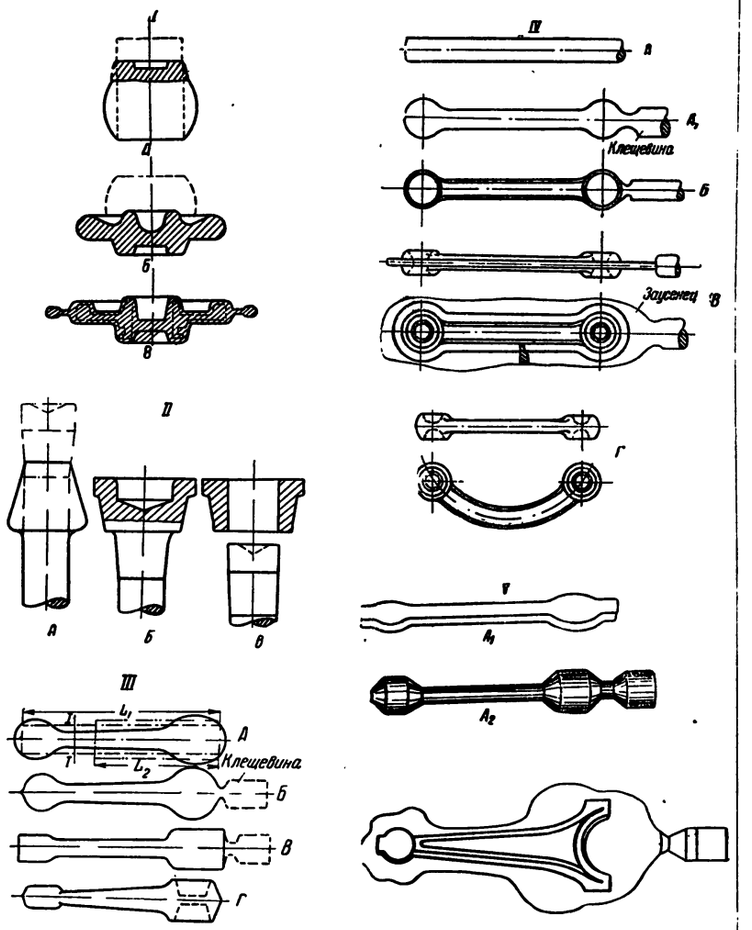



Рис. 356. Переходы при штамповке поковок различными способами:

*I* — торцевая штамповка в облойном штампе на прессе; *II* — торцевая штамповка в безоблойном штампе на горизонтально-ковочной машине; *III* — подготовительные операции при поперечной штамповке на молоте; *IV* — поперечная штамповка в облойном штампе на молоте; *V* — поперечная штамповка (периодически прокатанной заготовки) в облойном штампе на прессе



линией) следует переместить избыток металла от стебля шатуна в обе стороны от линии *I—I* к его головкам (*А*, рис. 356, *III*). Для этой операции применяют так называемые подкатные ручьи, профиль которых совпадает с профилем фасонной заготовки и назначение которых — обеспечить набор металла в одних сечениях за счет вытеснения металла на других участках без заметного изменения общей длины заготовки (*Б*, рис. 356, *III*). Подкатку ведут, поворачивая все время заготовку вокруг оси и удерживая ее за остальной пруток или за специально оставляемый участок прутка, называемый клещевиной (показана пунктиром). В случае другого способа перераспределения металла берут более короткую заготовку $L_2$, но большего поперечного сечения (пунктир с двумя точками). Такую заготовку можно протянуть на необходимые сечения, применив протяжной ручей (*В*, рис. 356, *III*). В этом случае результат перераспределения металла вдоль оси заготовки такой же, как и при подкатке, но очертания заготовки получаются менее плавными. Если необходимо перераспределить большое количество металла, применяют оба подготовительных ручья, совершая сначала протяжку, а затем подкатку заготовки.

Процессы подкатки и протяжки обычно совершаются на молотах ударами переменной величины на разных стадиях этих операций. Кроме этих основных ручьев, при штамповке заготовок перпендикулярно их оси применяют ручьи для гибки, пережима заготовки в отдельных местах и пр.

В более сложном случае (рис. 356, *IV*) — для кривого рычага *Г* штамповка производится в следующем порядке операций: подкатка $A_1$, предварительная штамповка *Б* в черновом ручье и окончательная в чистовом ручье (*В*). После обрезки заусенца поковка подвергается гибке *Г*.

При штамповке на кривошипных прессах применение операций подкатки и протяжки осложняется ввиду постоянного по величине хода рабочего инструмента; поэтому при штамповке на этих прессах целесообразно применять фасонные заготовки, полученные другими способами.

На рис. 356, *V* показана штамповка шатуна в один переход из проката периодического профиля, полученного продольной прокаткой ($A_1$) или поперечной прокаткой ($A_2$). Такой вид технологического процесса штамповки, как уже отмечалось, относится к числу новейших.

В основу разделения штамповки на облойную и безоблойную были положены особенности деформации в окончательных ручьях штампов. Подготовительные ручьи не отражают метода штамповки, поскольку обычно в этих ручьях заусенцев не получают, так как объем полости подготовительных ручьев делают больше объема поступающего в них металла, причем во многих

случаях перемещают заготовку по оси (при протяжке) или вращают ее вокруг оси (при подкатке), препятствуя образованию заусенцев.

Даже формующие ручьи при возможности работают без заусенцев, хотя в этом случае заготовки и не перемещаются. Сложные формы без заусенцев из простой заготовки в открытом штампе получить не удается. Так, шар не получается без заусенцев по месту разъема открытого штампа, если штамповать его из цилиндрической заготовки. Фасонная заготовка (два усеченных конуса по бокам цилиндра) дает шар без значительных заусенцев, но сама подготовка такой заготовки сложна.

Чем ближе фасонная заготовка воспроизводит размещение объемов поковки, тем меньше остается работы по приданию поковке окончательной формы и тем меньше образуется заусенец (потери металла). Дальнейшее совершенствование облойного метода штамповки составляет существенную проблему в техническом прогрессе кузнечно-штамповочного производства (путем применения периодических профилей, вальцовки, литья фасонной заготовки и т. д.).

Для удаления облоя применяют преимущественно кривошипные прессы. Штампы для срезания облоя или внутренней перемычки у поковок с отверстиями состоят из пуансонов и матриц; они называются обрезными в первом и прошивными во втором случаях и имеют обычно по одной режущей кромке — на матрице у обрезного штампа и на пуансоне у прошивного штампа. При расположении заусенцев у торца поковок обрезные штампы должны иметь две режущие грани — на матрице и на пуансоне.

Для придания большей точности размерам отштампованных поковок служит операция чеканки. Деформация (холодная) при чеканке очень мала, но точность размеров повышается с десятых до сотых долей миллиметра. Чеканка может быть как плоскостной, так и объемной, при которой придается точность по всем трем осям поковки.

Нередко приходится исправлять искажения, появляющиеся у поковок после термообработки, при обрезке заусенцев, а иногда и при самой штамповке. Искривлению легко подвержены поковки ажурных форм (с тонкими частями, ребрами и т. п.). Для правки поковок применяются правочные штампы на основном или дополнительном оборудовании.

Проектирование технологического процесса горячей штамповки требует учета особенностей формы изделия, необходимой точности его изготовления, пластичности исходного металла и возможности получать точную по весу заготовку. Безоблойный метод более подходит для тел вращения с полостями или отверстиями, причем возможно получение весьма точных поковок. Более жесткая схема трехосного сжатия металла при безоблойной штамповке позволяет обрабатывать малопластичные



сплавы. Экономия от устранения заусенца тем больше, чем дороже металл, что также учитывается при выборе безоблойного метода штамповки. Принимая во внимание сложность поковки, ее размеры, допустимые отклонения от заданной формы и требующуюся программу выпуска, определяют тип машины, после чего выполняют чертеж поковки, устанавливая необходимые припуски на механическую обработку и допуски на штамповку, расположение поковки при штамповке и положение разъема штампа относительно осей поковки. При штамповке на горизонтально-ковочных машинах и кривошипных прессах можно ориентироваться на 8-й, даже 7-й классы точности, а в случае молотов — на 9-й класс точности системы вала и отверстия ГОСТа.

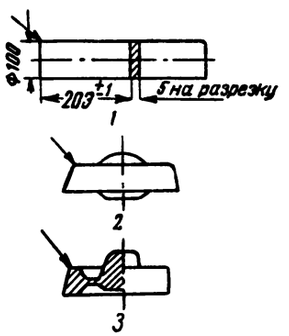



Рис. 357. Безоблойная штамповка шестерни:
*1* — заготовка; *2* — предварительный переход; *3* — окончательная штамповка изделия

На основании чертежа поковки определяются размеры и формы исходной заготовки, а также все промежуточные формы (переходы) и соответственно количество и форма заготовительных ручьев. Затем конструируют штамп, имея в виду не только тип, но и размеры оборудования, определяемые расчетом.

При проектировании технологического процесса пользуются многочисленными опытными правилами, формулами и данными, что приближает к правильным, пригодным для практики решениям.

По элементам технологии в соответствии с существующими нормативами определяются состав бригады и квалификации отдельных ее членов, а также нормы времени и расценки на единицу изделия. Все данные вносятся в технологическую карту, в которую входят также данные по режиму нагрева перед штамповкой и по первичной термической обработке. Эта карта является основным технологическим документом.

Примеры горячей штамповки. В качестве примера безоблойной штамповки на молоте рассмотрим технологический процесс изготовления шестерни (рис. 357). Большая разница размеров по толщине ступицы, полотна и венца заставляет вести штамповку в двух ручьях, в двух разных штампах (рис. 358, *I* и *II*). Предварительная обработка (рис. 358, *I*) соответствует наименьшей затрате энергии при подготовке объема заготовки к форме изделия. Штамп имеет круговой замок *1*, способствующий точному совпадению частей штампа. Окончательная штамповка (рис. 358, *II*) облегчена благодаря хорошей подготовке формы заготовки; уклон $\alpha = 5^\circ$ обеспечивает выход поковки из полости, но вызывает потери металла; для придания точности заготовке необходима разрезка прутков на пиле с учетом их действительного диаметра.

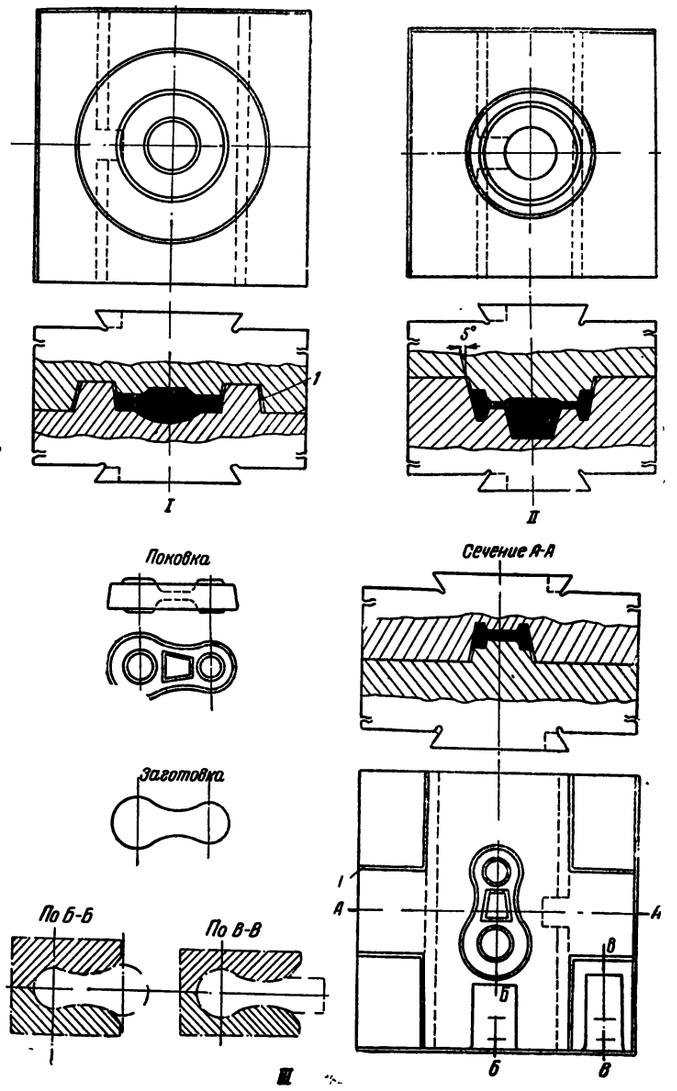



Рис. 358. Примеры безоблойной штамповки на молоте



Штамповка производится с двух нагревов, если при зачистке торцевого заусенца после предварительной штамповки заготовка остывает.

Несколько сложнее процесс безоблойной штамповки поковки удлиненной формы (рис. 358, *III*), не представляющей собой тела вращения. Штамп имеет угловые замки *1* для точного совпадения частей. Штамповка ведется с применением подкатных ручьев, которых приходится иметь два, ввиду отсутствия клещевины при безоблойной штамповке. Первый подкатной ручей (для большей головки) размещен на плоскости углового замка (сечение по *В—В*). После подкатки большой головки подкатывается малая головка, причем заготовка (при ее повороте на 90° и подкатке) удерживается за большую головку (сечение *Б—Б*).

Обработанная с двух сторон заготовка переносится в чистовой ручей, расположенный в центре штампа и за несколько ударов поковка получает окончательную форму.

Безоблойный метод штамповки на молотах в настоящее время совершенствуется и осуществляется для весьма сложных поковок, с применением разнообразных подготовительных операций (протяжка, подкатка, гибка, формовка и др.).

При облойной штамповке на молотах сложных поковок (например, коленчатых валов) иногда упрощают подготовительные операции, что повышает производительность, но увеличивает расход металла в заусенцы.

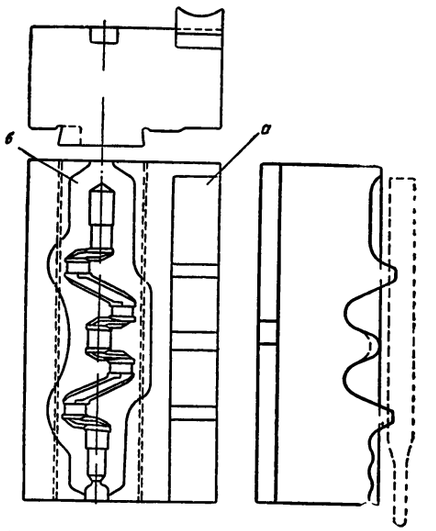



Рис. 359. Пример облойной штамповки на молоте

При штамповке пятиколенчатого вала согласно рис. 359 подготовка заготовки производится в единственном подготовительном гибочном ручье *а*. После гибки заготовка поступает (с поворотом на 90°) в окончательный ручей *б*, который обеспечивает придание валу его формы за 8—10 ударов молота. Заусенец неравномерен по периметру и в данном случае весьма велик; объем его учитывается при расчете заготовки.

Пример безоблойной штамповки в торец на кривошипном прессе приведен на рис. 360, *I*. Для изготовления изделия с двумя полостями применяются три перехода на прессе 500 *т* давлением. В начале заготовка осаживается (рис. 360, слева), очищаясь от окалины, и получает форму, удобную для следующего ручья. Во втором ручье намечается одна (более глубокая) полость поковки, после чего заготовка переносится в третий — окончательный — ручей закрытого типа, в котором поковка получает готовую форму.

Справа на рис. 360, *I* показан разрез штампа по окончательному ручью, устройство которого обеспечивает возможность замены отдельных частей штампа и простоту изготовления его; при штамповке используются оба выталкивателя *1* и *2* пресса.

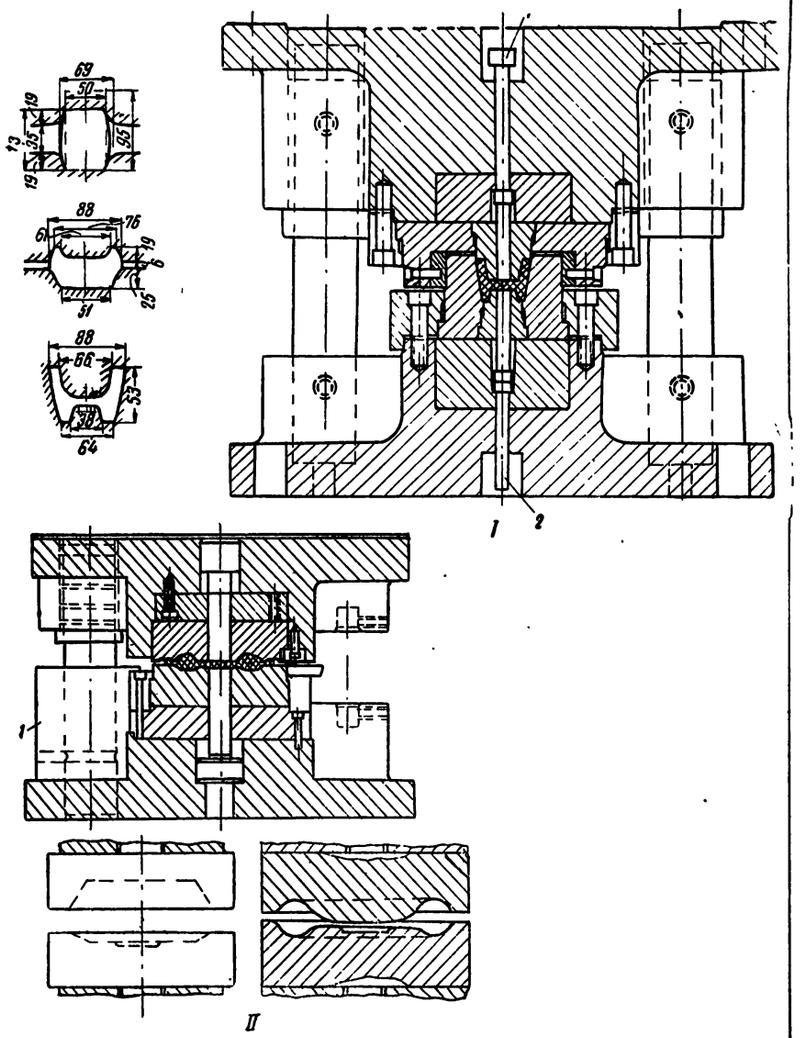



Рис. 360. Примеры штамповки на кривошипном прессе



О б л о й н ы й м е т о д штамповки на прессе представлен на рис. 360, *II*, относящемся к изготовлению шестерни заднего моста автомобиля на кривошипном прессе. После полузакрытой осадки в первом ручье следует расплющивание металла с образованием фиксирующего выступа во втором ручье (рис. 360, внизу), а в окончательном ручье — штамповка поковки. Этот штамп имеет две колонки *1*, расположенные по двум задним углам штампа, передние его углы заняты вставками заготовительных ручьев. В центре штампа расположен окончательный ручей, обслуживаемый двумя выталкивателями (в данном случае они не используются вследствие малой глубины полости).

При штамповке на кривошипных прессах наибольшие трудности связаны с перераспределением металла вдоль оси при поперечной штамповке поковок. В связи с этим применяют вальцовку на рядом стоящих вальцах или используют периодические профили, уже имеющие фасонную форму (см. например, рис. 356, *V*).

Штамповку на горизонтально-ковочных машинах поясним примером изготовления массивной фланцеобразной поковки со сквозным отверстием (рис. 361, *I*), получаемый б е з о б л о й н ы м м е т о д о м в одном штампе за четыре хода машины. Пруток, из которого штампуется поковка, взят несколько большим по диаметру *d*, чем отверстие поковки, но и в этом случае длина заготовки получилась более (2,5 3 *d*), допустимых для высадки за один ход машины до любого диаметра. Поэтому первый ручей предназначен для накопления (набора) металла, причем эта операция происходит в конусном пуансоне, большой диаметр полости которого во избежание продольного изгиба прутка и чтобы в этом ручье, по существу открытого типа, не образовался заусенец не превышает полутора диаметров исходного прутка; объем ручья больше объема высаживаемого металла на 5—8%. Поскольку основной разъем штампа проходит не по месту максимальной бочкообразности заготовки при высадке, то этот запас объема достаточен для предотвращения образования заусенца. При штамповке пруток удерживается силами трения на частях матриц (участок *г*). Второй ручей — формовочного типа. В нем заготовка получает некоторую, приближающуюся к окончательной форму. Фланец уже набран, имеет наметку для будущей полости и компенсирующее утяжку при прошивке в следующем ручье выпуклое утолщение *а*. Пруток получает пережим (боковыми матрицами) для того, чтобы уравнять его диаметр с диаметром отверстия поковки. В третьем ручье поковка оформляется окончательно, но еще соединена с прутком. Прошивка полости сопровождается торцевой штамповкой, что и обеспечивает хорошее заполнение углов полости штампа.

Четвертый ручей (нижний) — отрезной. Поковка опирается на кольцевой нож *б*, причем пруток уже не зажимается между матрицами, а находится в них свободно. Пуансон нажимает на дно полости поковки и продавливает пруток. Дальнейшая штамповка продолжается в том же порядке, причем с одного нагрева прутка может быть отштампован ряд поковок.

Для безоблойной штамповки желателен прокат повышенной точности или даже калиброванный.

Облойный штамп для изготовления поковок тяг (рис. 361, *II*) иллюстрирует штамповку типичной для горизонтально-ковочной машины поковки в виде головки на конце длинного стержня.

Первый ручей (верхний) предназначен для набора металла. При штамповке в окончательном ручье (нижнем) происходит оформление плоской головки поковки. После набора металла головка сплющивается силой зажимных матриц, для чего между двумя описанными ручьями помещен ручей в виде выемок в матрицах.

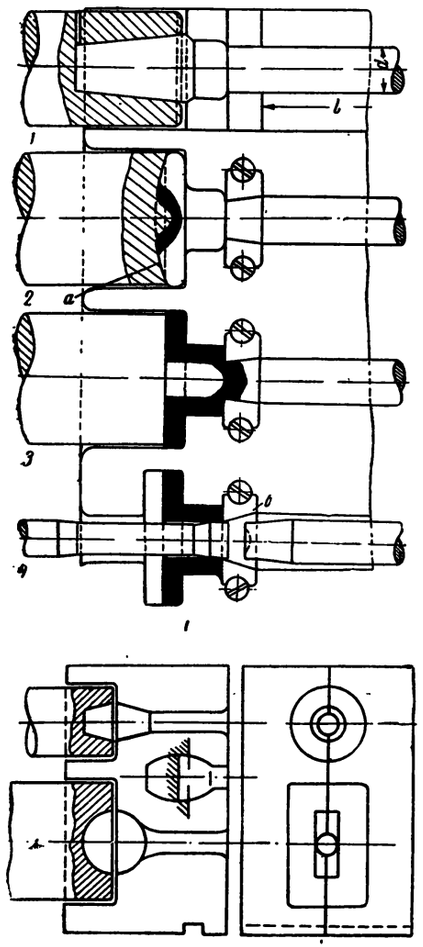



Рис. 361. Примеры штамповки на горизонтально-ковочной машине

*I* — ручей — предварительный для набора металла; *2* — промежуточной формовки; *3* — окончательной формовки; *4* — отрезной.



## 125. Холодная штамповка

Основные преимущества холодной штамповки состоят в возможности обрабатывать заготовки небольших толщин (тонкие листы) и поперечных сечений (проволоки); в легкости автоматизации (холодновысадочные автоматы, многошпиндельные автоматы и т. п.); в отсутствии порчи поверхности вследствие окисления металла при нагреве; в отсутствии искажения размеров изделий теплового происхождения; в общей высокой точности изготовления холодноштампованных изделий, что позволяет использовать их в ряде случаев непосредственно для сборки машин (части автомобилей, счетных, пишущих машин, часов и т. п.).

Недостатки холодной штамповки заключаются в меньших возможных деформациях вследствие повышенного сопротивления деформации и явления наклепа металла.

Промежуточный отжиг усложняет производство, причем сталь при отжиге подвержена окалинообразованию и обезуглероживанию, а поверхность ее, если не принять соответствующих мер, становится окисленной.

Холодная штамповка имеет ограничения по химическому составу стали в связи с малой пластичностью стали некоторых марок; лучше всего в холодном состоянии штампуется малоуглеродистая сталь, однако штампуют без нагрева и легированную сталь, например нержавеющую.

К холодной штамповке относятся листовая штамповка, высадка на автоматах, выдавливание, гибка, чеканка, обжимные и давильные операции. Многие операции холодной штамповки сходны с операциями при горячей штамповке (высадка, выдавливание, обжимные операции), но дают лучшее качество поверхности изделий и большую их точность.

Наиболее характерным процессом холодной штамповки является листовая штамповка из заготовки толщиной от 0,05 *мм* до 5—6 *мм* в виде ленты, полос и листов (цельных, или разрезанных на части).

В штамповочном отделении заготовки подвергаются основным процессам ***разделения и изменения формы***, состоящим из отдельных операций технологического процесса штамповки. Листовая штамповка имеет много общего в отдельных операциях, что позволяет схематически рассмотреть их комплексно (рис. 362). Во всех случаях инструмент состоит из матрицы *А* и пуансона *Б*; в ряде операций применяется прижим *В*.

Различие в профиле этих деталей определяет характер операций. Если пуансон *А* и матрица *Б* имеют острые кромки и удалены друг от друга на величину нормального зазора ($\approx 0{,}15\ S$, где $S$ — толщина листа), то имеет место вырубка заготовки или пробивка отверстия (рис. 362, *I*). Закругление рабочей кромки

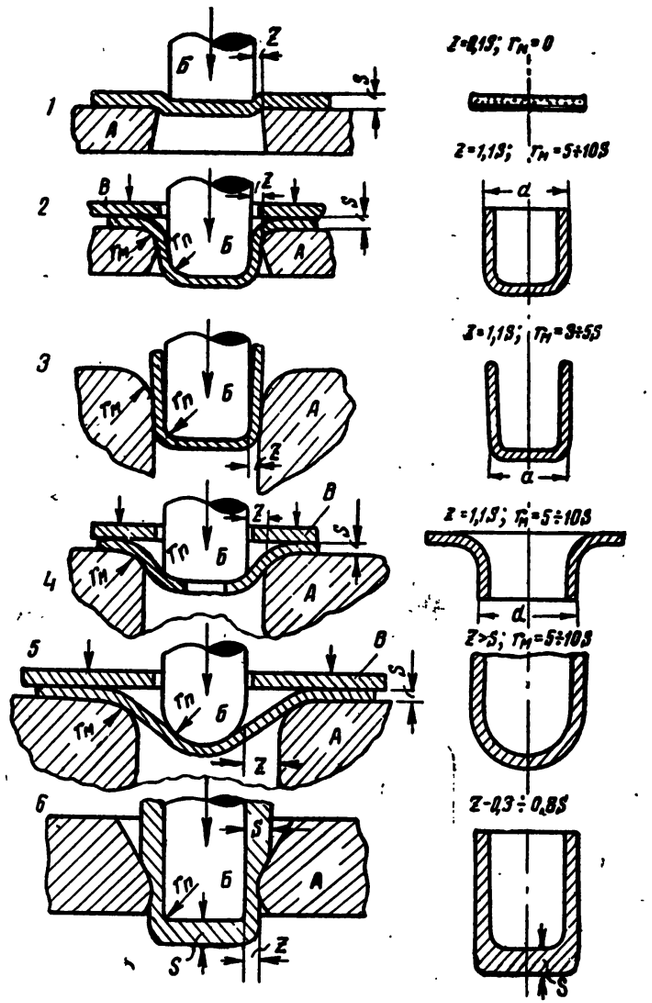



Рис. 362. Схемы операций листовой штамповки (Е. А. Попов):

*1* — вырубка; *2* — вытяжка без утонения стенки; *3* — гибка; *4* — отбортовка; *5* — вытяжка сферических изделий; *6* — вытяжка с утонением стенки



матрицы ($r_м$ = от 5 до 10 $S$) и установление зазора $z$ несколько большим величины $S$ позволяет произвести вытяжку (рис. 362, *2*). Гибка совершается в штампе с прямыми рабочими кромками инструмента (рис. 362, *3*). Если вытяжке подвергается заготовка с отверстием, то получается изделие в виде патрубка (рис. 362, *4*) и операция носит название отбортовки.

Вытянутые изделия могут иметь и сферическое дно (рис. 362, *5*). Если при вытяжке зазор $z < S$, то имеет место вытяжка с утонением заготовки (рис. 362, *6*). В простейших случаях штамповка состоит только из разделительных операций; чаще эти операции являются заготовительными по отношению к последующим формоизменяющим, но иногда бывают и заключительными.

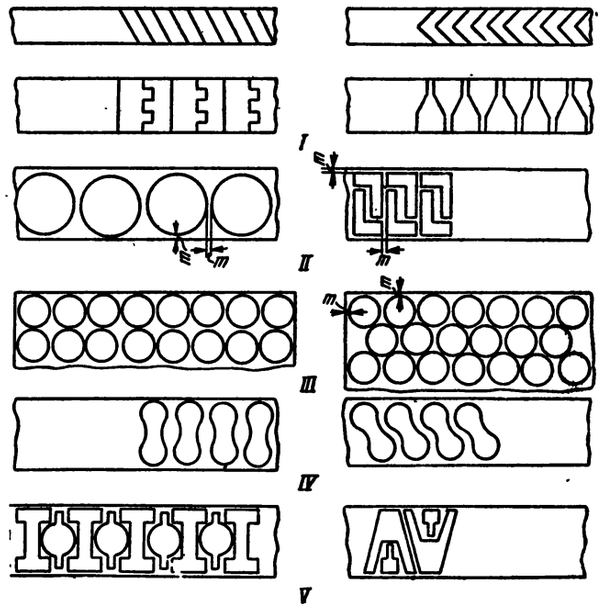



Рис. 363. Примеры разделительных операций при листовой штамповке

1. К разделительным операциям, производимым в штампах, относятся разрубка (рис. 363, *I*), вырубка по контуру (рис. 363, *II*) и пробивка отверстий. Разрезка на ножницах не позволяет получить любые контуры заготовки и дает края худшего качества, чем в штампах, поэтому для получения фасонных листовых заготовок более распространена вырубка по контуру в штампах. В этом случае, в целях экономии металла, насколько возможно умень-

шают перемычки $m$ (рис. 363, *II*) величина которых зависит от толщины листа $S$, как показано ниже:

| $S$, *мм* | 0,2 | 0,8 | 1,6 | 2,4 | 3,0 | 4,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $m$, *мм* | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 2,4 | 3,0 |

Меньшая величина перемычек недопустима из-за затягивания металла в зазоры между пуансонами и матрицами в штампах. Для повышения выхода годного увеличивают количество рядов при вырубке, применяя шахматное или наклонное расположение вырубаемых изделий (рис. 363, *III* и *IV*) и комбинированное расположение нескольких изделий в листе (рис. 363, *V*). Обычно выход годного при разделительных операциях в штампах составляет 70—80%.

Штампы для вырубки состоят из пуансонов и матриц, а также вспомогательных частей для фиксации положения заготовки, съемников и некоторых других.

Штамп с рядом расположенными пуансонами носит название последовательного, в отличие от совмещенного, посредством которого можно получить, например, шайбы с одновременной вырезкой и вырубкой. Эскиз последовательного штампа приведен на рис. 364, *I* и там же (рис. 364, *II*) приведена схема совмещенного штампа. В этом штампе пуансон диаметром $D$ служит как вырубной и одновременно является дыропробивной матрицей с отверстием $d$. Шайба $A$ выталкивается пружинами, действующими снизу вверх в неподвижной части штампа. Внутренний отход $Б$ выталкивается пружинами, действующими сверху вниз в подвижной части штампа.

Усилие вырубки или пробивки подсчитывают по формуле

$$P = k \cdot LS\sigma_{ср}, \qquad (158)$$

где $L$ — периметр вырубки или пробивки, *мм*;

$S$ — толщина листа, *мм*;

$k$ — коэффициент, учитывающий отклонение от явления чистого среза ($\approx$1,3);

$\sigma_{ср}$ — сопротивление материала срезу: $\sigma_{ср} \approx 0{,}8\ \sigma_{пч}$.

С учетом затупления режущих кромок $P \approx 1{,}5\ LS\sigma_{ср}$.

Процесс изменения формы при листовой штамповке сводится к гибке и вытяжке. Особенностью х о л о д н о й г и б к и являются большие упругие деформации, приводящие к частичному распрямлению согнутого изделия (на угол пружинения). При гибке на угол 90° угол пружинения составляет для мягкой стали несколько градусов, а для твердой стали достигает 12° (при толщине листа до 0,8 *мм*). Гибка может привести к разрушению металла (в зоне его растяжения), поэтому устанавливают минимально допустимый радиус гибки: 0,5—0,8 от $S$ при гибке поперек волокон стали и 1,2—1,5 от $S$ при гибке параллельно волокнам (меньшие значения в случае мягкой стали).



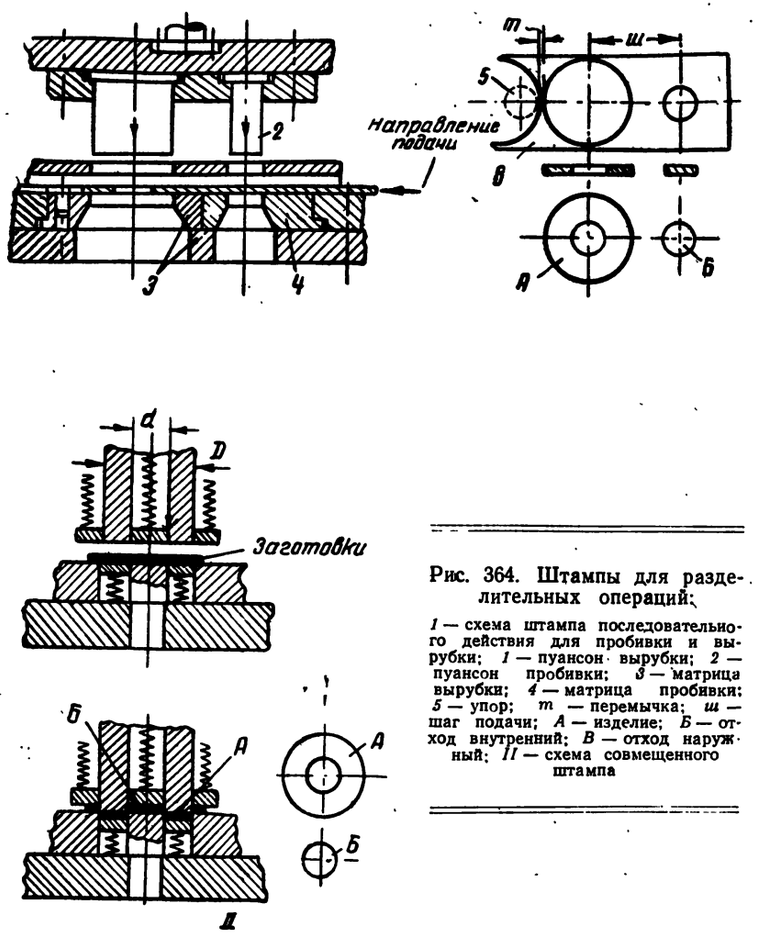



Рис. 364. Штампы для разделительных операций:

*I* — схема штампа последовательного действия для пробивки и вырубки; *1* — пуансон вырубки; *2* — пуансон пробивки; *3* — матрица вырубки; *4* — матрица пробивки; *5* — упор; *m* — перемычка; *ш* — шаг подачи; *А* — изделие; *Б* — отход внутренний; *В* — отход наружный; *II* — схема совмещенного штампа

Усилие гибки можно подсчитать по формуле:

$$P_{кг} = 0{,}7\,\frac{BS^2}{R+S}\sigma n, \qquad (159)$$

где $B$ — ширина гибки, *мм*;

$\sigma$ — напряжение изгиба, *кг/мм²*;

$n$ — число изгибаемых углов;

$R$ — радиус гибки, *мм*;

$S$ — толщина листа, *мм*.

Вытяжка является наиболее сложной операцией листовой штамповки и предназначена для превращения плоской заготовки в полое тело (колпачок) или дальнейшего уменьшения его диаметра при одновременном увеличении глубины полости колпачка. Эта операция, уже рассмотренная в теоретической части книги, совершается в штампе, показанном на рис. 365, *I*. Большой радиус закругления $R$ рабочей грани матрицы обеспечивает плавность превращения плоской заготовки в колпачок (рис. 365, *II*). Без прижима (сила $Q$) складки на колпачке не образуются, если $D_{заг} - d_п \leqslant 18\,S$.

Непосредственно у дна вытесняется небольшое количество металла, но по мере приближения к краю заготовки степень деформации металла возрастает, что и подтверждается, например, измерением твердости вдоль образующей колпачка (рис. 365, *I* справа, внизу), а также увеличением толщины колпачка ближе к краю (в пределах зазора между пуансоном и матрицей).

За один проход при вытяжке можно получить колпачок, имеющий диаметр только в 1,8—2,0 раза меньше, чем диаметр исходной заготовки; при большей деформации усилие вытяжки возрастает настолько, что металл разрушается (отрывается дно колпачка).

Дальнейшее уменьшение диаметра колпачка достигается последующими вытяжками. Величина первой вытяжки, подсчитываемая как частное от деления диаметра $D_1$ колпачка после первого перехода на диаметр $D_{заг}$ исходной заготовки

$$k_1 = \frac{D_1}{D_{заг}} \qquad (160)$$

(рис. 365, *II*) для стали, составляет 0,50—0,55.

Последующие операции позволяют получить этот коэффициент ($k_2 = \frac{D_2}{D_1}$ ; $k_3 = \frac{D_3}{D_2}$ и т. д.) равным лишь 0,72—0,82. Отжиг стали производится обычно не чаще чем через две операции вытяжки. Усилия вытяжки подсчитывают по формуле

$$P = F\sigma, \qquad (161)$$

где $F$ — площадь поперечного сечения боковой стенки колпачка, *мм²*;



$\sigma$ — напряжение при вытяжке;

$$\sigma = \sigma_{пч} \cdot n,$$

где $n = f(k)$.

| $k$ | 0,55 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
|---|---|---|---|---|
| $n$ | 1,0 | 0,86 | 0,6 | 0,4 |

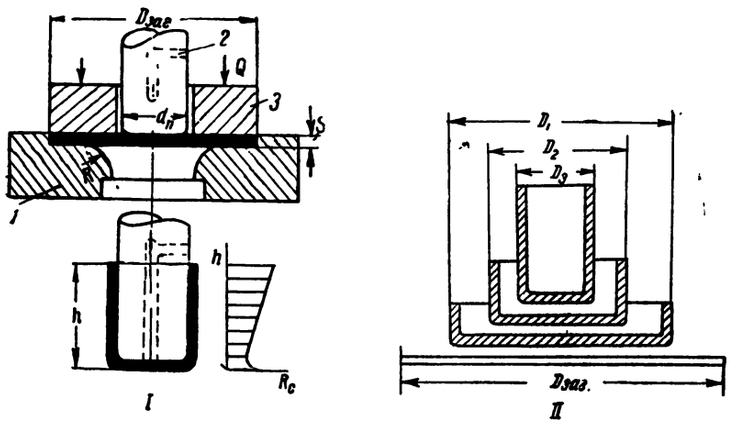



Рис. 365. Схемы, иллюстрирующие операцию вытяжки:
*1* — матрица; *2* — пуансон; *3* — прижимное устройство

Зазор между пуансоном и матрицей при вытяжке без утонения составляет в среднем величину на 10% большую, чем толщина листа (см. рис. 362).

При вытяжке с утонением зазор меньше толщины листа. *Коэффициент утонения* подсчитывается как частное от деления толщины заготовки после вытяжки $s_{n+1}$ на толщину исходной заготовки $s_n$

$$k_{ут} = \frac{s_{n+1}}{s_n}. \qquad (162)$$

Для мягкой стали $k_{ут} \approx 0{,}65$, а для твердых сталей $k_{ут} \approx 0{,}75$.

Штампы, применяемые для вытяжных операций, чрезвычайно разнообразны. Устройство простейшего штампа для первой вытяжки (свертки колпачка) без утонения понятно из самой схемы этого процесса (см. рис. 365, *I*). Если штамп установлен на пресс простого действия, то прижимное устройство *3* действует

от дополнительного механизма (пружинного или пневматического).

Штамп для повторных операций без утонения (рис. 366, *I*), установленный на прессе двойного действия, работает следующим образом. Колпачок диаметром $D_1$ вкладывается в составную матрицу *1*, прижимное устройство *2*, действующее от второго ползуна пресса, входит в колпачок и предотвращает складкообразование при вытяжке колпачка до диаметра $D_2$ пуансоном *3*, связанным с основным ползуном пресса. Изделие удаляется из полости штампа на обратном ходу пресса выталкивателем *4*.

Комбинированный штамп пресса двойного действия (рис. 366, *II*) производит вырезку кружков из полосы и вытяжку их в колпачок. Полоса подается в щель между направляющей *1* и режущей матрицей *2*. Пуансон *3* вырубает кружок, опускает его на вытяжную матрицу *4* и в дальнейшем служит прижимом при вытяжке колпачка пуансоном *5*, действующим от основного ползуна пресса. Штамп монтируется в башмаке *6*.

Большую группу составляют специальные штампы для раздутия заготовки изнутри посредством жидкостей, резины, сыпучих тел, сжатого воздуха и даже взрывных процессов.

На рис. 366, *III* представлен штамп для формовки изделия жидкостью. Заготовкой здесь служит колпачок, вытянутый обычным способом. Матрица *1* штампа разъемная и стягивается обоймой *2*. Прижимной пуансон *3*, действующий от вспомогательного ползуна пресса двойного действия, обеспечивает закрепление колпачка в матрице. Пуансон *4*, действующий от основного ползуна пресса, оканчивается резиновой пробкой (заштрихована сеткой). Внутрь колпачка налита жидкость (масло, вода). При надавливании на жидкость резиновая пробка раздается в стороны, создает герметичность системы и обеспечивает деформацию боковых стенок колпачка. Таким же способом штампуют посредством резиновых шаров и сыпучих тел.

Процесс штамповки резиной состоит в том, что лист *а* помещают на шаблон *1* необходимой формы (рис. 366, *IV*), после чего ползун пресса прижимает сверху слой резины *2* и придает листу рельеф шаблона. Преимущество этого способа заключается в дешевизне приспособления, причем шаблоны (даже деревянные) могут укладываться в большом количестве под пресс и таким образом за один ход пресса может производиться штамповка многих изделий. Если шаблон имеет острые края, то происходит пробивка или вырубка.

Помимо вытяжки для получения полых изделий применяют так называемые давильные операции. Эти операции менее производительны, чем вытяжка на прессе, но не требуют больших расходов на оборудование и инструмент. Этот очень старый процесс заключается в последовательной формовке из листовой заготовки изделий (только в виде тел вращения) на токарном станке, причем обжатие металла ведется вручную давильным инструментом (рукояткой с металлической рабочей надставкой со сглаженным концом либо той или иной формы роликом). Окончательная форма изделия определяется вращающейся вместе с ним от станка оправкой (обычно деревянной), к которой и прижимается обрабатываемая заготовка. Еще более древним по времени возникновения является давильный процесс выколотки, когда листу придается известная форма простым обколачиванием на колодке.

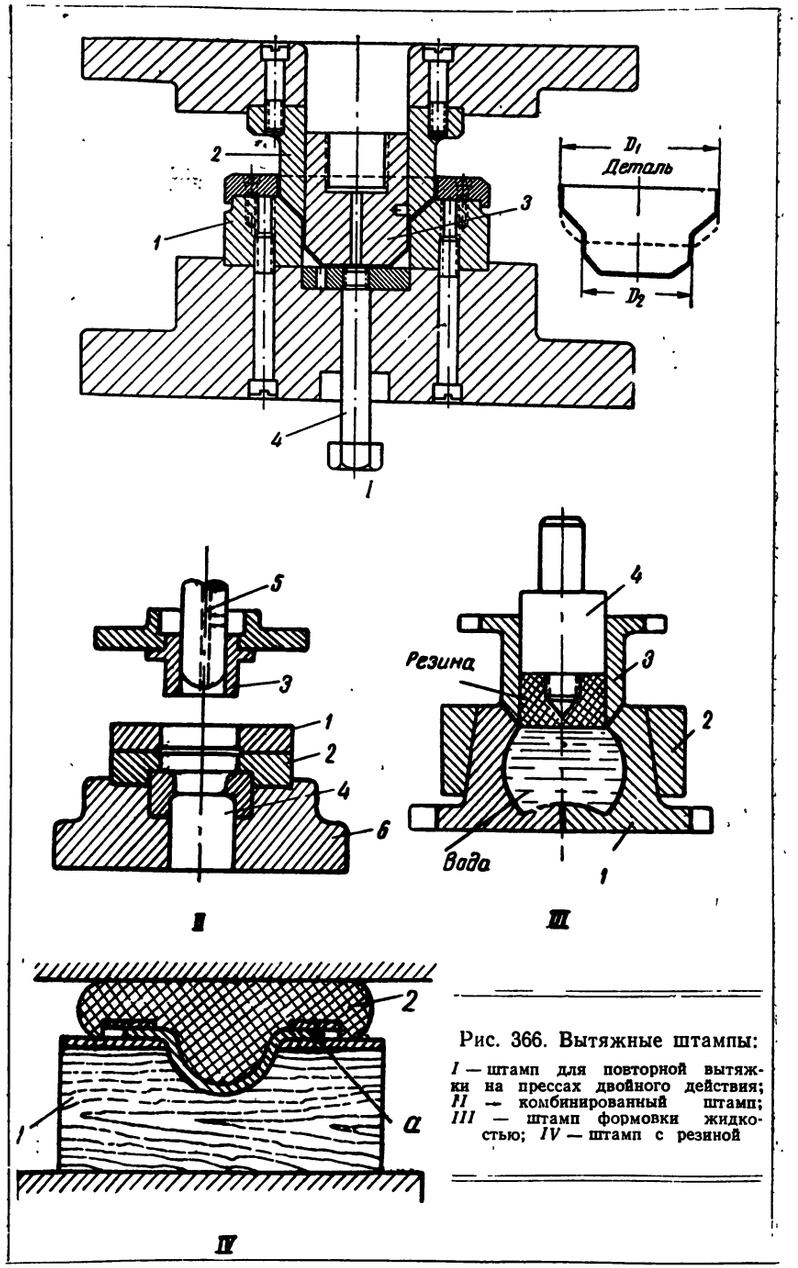



Рис. 366. Вытяжные штампы:
*I* — штамп для повторной вытяжки на прессах двойного действия; *II* — комбинированный штамп; *III* — штамп формовки жидкостью; *IV* — штамп с резиной

Широкое применение получила так называемая рельефная чеканка. Эта операция по нанесению рисунков на листовые и другого вида заготовки требует очень больших давлений. Инструмент часто выполняется граверным способом, очень дорог и быстро изнашивается, в связи с чем чеканку обычно осуществляют для самых мягких металлов.

В холодном состоянии изготовляют также изделия в штампах, аналогичных тем, которые применяются для горячей штамповки. Получающиеся изделия отличаются чистотой поверхности и точностью размеров. Однако большие давления, требуемые для деформации в холодном состоянии, затрудняют применение этого вида штамповки для крупных изделий.

## 126. Вопросы организации и экономики кузнечно-штамповочного производства

Очень большое значение в кузнечно-штамповочном производстве имеет правильная организация рабочего места, способствующая повышению производительности труда. Рабочее место должно быть достаточно механизировано для вспомогательных операций технологического назначения и для ремонта. Удобство работы, экономное расходование площади цеха, хорошие условия труда и безопасная работа составляют обязательные условия правильной организации рабочих мест. Опыт работы лучших отечественных цехов позволяет выделить наиболее удачные схемы взаимного расположения оборудования на рабочих местах кузнецов, штамповщиков и прессовщиков.

Так, при свободной ковке на молоте (рис. 367, *I*) печь *1* располагается слева от молота *2*, чтобы кузнец, стоя у молота, мог хорошо видеть подаваемую от печи нагретую заготовку. Машинист (справа у молота) хорошо видит все рабочее место. Заготовки находятся около печи, поковки около молота.

Рабочее место обдувается свежим воздухом из вентилятора *3*. Между печью и молотом помещается крановая стрела, в пределах досягаемости которой находятся заготовки и поковки. Кран может быть использован и для ремонтных целей.

Рабочее место мощного пресса *1* (рис. 367, *II*) и батареи печей *2* обслуживается загрузочной машиной *3* для загрузки и выгрузки из печи заготовки и манипулятором *4*, который, перехватывая нагретые заготовки от разгрузочной машины, совершает все вспомогательные операции при ковке. Рядом с прессом помещается поворотный стол *5*, предназначенный в случае необходимости для захвата заготовки за другой ее конец. Поковки складываются для остывания в колодец *6*.

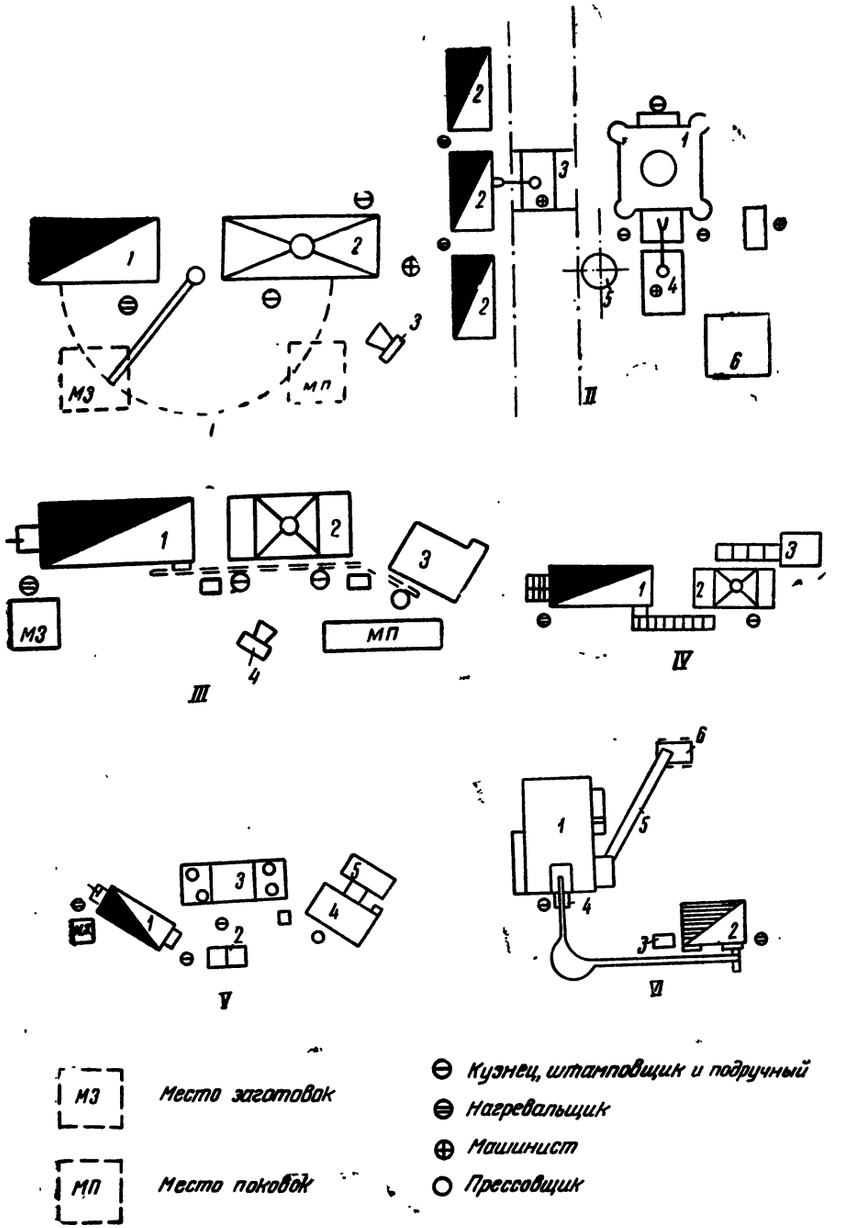



Рис. 367. Примеры организации рабочих мест

Типовое рабочее место при штамповке облойным методом на молоте показано на рис. 367, *III*.

Слева направо расположены: печь *1* (полуметодическая с толкателем), молот *2* и обрезной пресс *3*. При передаче нагретых заготовок используется столик, который находится между печью и молотом. Такой же столик помещается между молотом и прессом. Рабочий берет заготовку со столика, не нагибаясь. Рабочее место обдувается вентилятором *4*. При большом весе поковок для передачи их вдоль рабочего места используется монорельс (показан пунктиром).

Вариант рабочего места при полной механизации безоблойной штамповки иллюстрируются на рис. 367, *IV*. В этом случае обрезной пресс отсутствует. Заготовки мостовым краном по 60—80 шт. разгружаются в магазин полуметодической печи *1*. После выдачи из печи заготовки по конвейеру поступают к штамповщику на молот *2*, и после штамповки по другому конвейеру поступают в ящик *3*, откуда краном или на электрокаре увозятся на склад.

Вариант организации рабочего места облойной штамповки с электронагревом металла приведен на рис. 367, *V*.

Заготовки загружаются в индукционный нагреватель *1* методического типа (с толкателем) и после нагрева обрабатываются на ковочных вальцах *2*, после чего поступают на штамповочный пресс *3*, затем через столик на обрезной пресс *4* и, наконец, по конвейеру попадают в ящик *5*, откуда увозятся электрокарой.

Организация рабочего места при штамповке на горизонтально-ковочной машине *1* (рис. 367, *VI*) имеет много вариантов. При работе от прутка заготовки поступают из печи *2* по одной ветви монорельса, в то время как в печь по другой его ветви увозится ранее обработанный пруток. По дороге к машине пруток проходит очистку от окалины (например, гидроочистку *3*). Передача прутков из ручья в ручей производится подъемным столом *4*. После штамповки поковки из приямка машины убираются конвейером *5* в тележку *6*.

При холодной штамповке отсутствие печей упрощает организацию рабочего места, а нормальная температура заготовок и изделий позволяет широко использовать при механизации прорезиненные ленты, кожу и брезент, что значительно облегчает механизацию и автоматизацию процесса. Автоматические линии внедряются и в горячих штамповочных цехах отечественных заводов. В заключение отметим некоторые вопросы себестоимости кованых и штампованных изделий.

Для решения вопроса экономичности различных способов ковки и штамповки необходимо исходить из принципа: при наименьших экономических затратах обеспечить наивысшую производительность и качество изделий; большое значение при этом имеет экономия металла.



Как известно, себестоимость изделий слагается из прямых и накладных (цеховых, заводских) расходов. Анализ статей расходов указывает пути снижения себестоимости. Использование более дешевых металлов, увеличение стойкости штампов, механизация рабочих мест, использование отработанного пара, использование отходов металла и многое другое служит источником удешевления изделий.

Себестоимость поковок связана также с величиной серии и партии выпускаемой продукции: чем на большее число партий делится выпускаемая серия, тем больше переналадок штампов и простоев производства, тем выше себестоимость. Для обеспечения ритмичности работы необходимо установить технологически удобные партии выпускаемых поковок, согласованные с общими планами выпуска изделий.

Себестоимость должна быть возможно более низкой не только по отношению к поковке, но и к детали; таким образом, правильный анализ себестоимости должен охватывать все этапы изготовления детали.

Сопоставление расчетов себестоимости детали в зависимости от величины партии при разных способах изготовления позволяет решать многие технологические вопросы.

## ЛИТЕРАТУРА


1. И. П. Бардин и Н. П. Банный. Черная металлургия в новой пятилетке. Изд. АН СССР, 1947.
2. И. М. Павлов. Теория прокатки и основы пластической деформации металлов, ГОНТИ, 1938.
3. С. И. Губкин. Теория обработки металлов давлением, Металлургиздат, 1947.
4. И. М. Павлов. Теория прокатки, ч. 1. (Общие основы обработки металлов давлением), Металлургиздат, 1950.
5. А. И. Целиков. Прокатные станы, Металлургиздат, 1947.
6. А. И. Целиков. Механизмы прокатных станов, Машгиз, 1946.
7. И. Г. Кульбачный. Механическое оборудование прокатных цехов, Металлургиздат, 1946.
8. И. Я. Тарновский. Формоизменение при пластической обработке металлов, Металлургиздат, 1954.
9. М. Л. Зарощинский. Прокатка стали, Металлургиздат, 1948.
10. Е. П. Унксов. Пластическая деформация при ковке и штамповке, Машгиз, 1939.
11. А. И. Целиков, Н. М. Федосов, А. А. Соколов. Прокатка стали, Металлургиздат, 1943.
12. П. Т. Емельяненко, С. И. Борисов, А. А. Шевченко. Трубопрокатное производство, Металлургиздат, 1940.
13. А. П. Виноградов. Расход энергии при прокатке и мощность двигателей при станах, Журнал «Металлург», № 2, 3, 4, 1929.
14. П. С. Истомин. Прессование металлов, Металлургиздат, 1944.
15. В. Е. Грум-Гржимайло. Прокатка и калибровка, Л.—Кубуч, 1933.
16. А. А. Александров. Блюминги и слябинги, Металлургиздат, 1949.
17. В. Г. Сердюков и Я. Я. Цирш. Обработка цветных металлов и сплавов давлением, Металлургиздат, 1947.
18. Я. М. Охрименко. Технология горячей штамповки стали, Машгиз, 1949.
19. А. П. Виноградов. Калибровка прокатных валков, Гостехиздат Украины, 1934.
20. А. Ф. Головин. Прокатка, ч. III (калибровка), ОНТИ, 1936.
21. Е. П. Унксов. Новое в технологии горячей штамповки, Машгиз, 1949.
22. А. П. Виноградов и Г. А. Виноградов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1950.
23. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953.
24. А. П. Чекмарев. Точная прокатка, Металлургиздат, 1952.
25. С. И. Губкин. Ковка и штамповка цветных металлов и сплавов, Металлургиздат, 1940.
26. Ю. М. Чижиков. Прокатное производство, Металлургиздат, 1950.
27. И. Л. Перлин. Волочение цветных металлов и сплавов, ОНТИ. Металлургиздат, 1934.





28. В. П. Северденко. Статьи в сборнике «Обработка металлов давлением», Металлургиздат, 1952.
29. В. С. Смирнов. Поперечная прокатка, Машгиз, 1948.
30. И. А. Фомичев. Процесс прошивки в дисковом прошивном стане. Сталь, 1940, № 12.
31. А. Ф. Лисочкин. Поперечная прокатка, Сталь, № 6, 1946.
32. Д. И. Старченко. Развернутая калибровка фасонных профилей, Металлургиздат, 1952.
33. С. Н. Хржановский. Проектирование кузнечных цехов. Машгиз, 1949.
34. И. Пуппе и Г. Штаубер. Прокатное дело, ч. I и II, ОНТИ, 1939.
35. К. Ф. Грачев. Ковочное производство, ОНТИ, 1936.
36. И. А. Юхвец и В. М. Алексеенко-Сербин. Холодное волочение черных металлов, ОНТИ, 1938.
37. Ю. М. Матвеев и Я. Л. Ваткин. Калибровка валков и инструмента трубных станов, Металлургиздат, 1951.
38. Л. С. Гельдерман. Калибровка прокатных валков, ОНТИ, 1935.
39. ЦНИИТМАШ. Прокатные станы (атлас), Машгиз, 1950.
40. А. А. Королев и Г. М. Николаевский. Механическое оборудование прокатных цехов, Металлургиздат, 1953.
41. Энциклопедический справочник «Машиностроение», 1948, т. 6 и т. 8.

Редактор *И. Я. Тарновский*
Редактор издательства *Н. А. Валов*
Технический редактор *Е. Г. Шпак*

* *
*

Сдано в производство 11/V—1955 г.
Подписано к печати 23/VIII—1955 г.
Уч.-изд. л. 28,8
Бумага 60 × 92¹/₁₆ = 15,187 бум. л. =
=30,25 п. л.+вклейка 0,125 п. л.=30,375 п. л.
Т=06963 Тираж 11.000
Заказ 1515 Цена 11 р. 60 к.

* *
*

Типография Металлургиздата,
Москва, Цветной бульвар, д. 30

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Стр. | Строка | Напечатано | Должно быть | По чьей вине |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 20 сн. | 39 | 395 | Тип. |
| 61 | Рис. 28 | $P_1P_2P_2P_4P_5$ | $P_1P_2P_3P_4P_5$ | Авт. |
| 113 | 1 и 2 сн. | $D = a_3\sqrt{2} + 1$ 2 *мм* | $D = a_3\sqrt{2} + 1 \div 2$ *мм* | » |
| 133 | Рис. 77 | $\frac{H-h}{H}$ | $\frac{H-h}{H} \cdot 100$, % | Авт. |
| 160 | 9 св. | восьмивалковые | шестивалковые | Авт. |
| 174 | 7 св. | *кг/см;* | *кгсм;* | » |
| 186 | 13 сн. | 750 1600 *мм,* | 750 — 1600 *мм,* | Тип. |
| 234 | 4 сн. | *б* — стальные ленты | *б* — стальные литые | Авт. |
| 261 | 10 св. | 1,1 3,5 | 1,1 ÷ 3,5 | Тип. |
| 268 | 4 сн. | $\alpha_м = \alpha$ | $\alpha_м = \alpha_б$ | » |
| 282 | 2 сн. | ± 0,1 0,07 *мм,* | ± 0,1 ÷ 0,07 *мм,* | » |
| 306 | 1 сн. | первый | третий | Авт. |
| 308 | 4 св. | третий | четвертый | Авт. |
| 338 | 15 сн. | литейного | линейного | Тип. |
| 371 | 15 сн. | (пассирование) | (пассивирование) | Авт. |
| 396 | 5 св. | (*d* = 2,9 1,8 *мм*), | (*d* = 2,9 — 1,8 *мм*), | Тип. |
| 417 | 19 сн. | 50 30 000 *т* | 50 ÷ 30 000 *т* | » |
| 467 | 21 св. | (2,5 3 *d*), | (2,5 — 3 *d*), | » |

Заказ 1515